

# SINTESIS MATERIAL KARBON NANODOTS DARI BUAH SIRSAK DENGAN LOGAM BESI DAN KAJIAN SPEKTRUM SERAPANNYA

*Zakarias Seba Ngara<sup>\*</sup>, Bartholomeus Pasangka, Frederika Rambu Ngana,  
Avelina Elin*

*Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Jln. Adi  
Sucipto, Penfui, Kupang, NTT, 85148, Indonesia*

*\*Corresponding Author: zakariasngara@staf.undana.ac.id*

## Abstrak

*Dalam penelitian ini, kami mendemonstrasikan proses fabrikasi, sintesis dan analisis spektrum serapan material karbon nanodots (K-dots) dari buah sirsak asal Kabupaten Kupang, Propinsi Nusa Tenggara Timur. Proses fabrikasi material K-dots ini menggunakan metode microwave. Jus sirsak (10 gram, 10 mL aquades) dipanaskan dengan microwave selama satu jam pada daya 900 watt. Warna sampel setelah pemanasan pada kondisi ini adalah hitam kecoklatan yang mengindikasikan telah terbentuknya material K-dots. Selanjutnya 60 mL aquades ditambahkan ke dalam sampel ini dan disonikasi selama 30 menit dan disentrifugasi pada 1500 rpm selama 20 menit. Sampel ini disaring dan dimurnikan dengan aquades. Dengan iradiasi lampu UV 365 nm, material K-dots ini memancarkan warna biru keabuan yang menunjukkan bahwa material K-dots berfluoresens biru keabuan. Berdasarkan spektrum serapannya, jangkauan serapan material K-dots ini adalah 200 sampai 450 nm dengan puncak serapan terjadi pada 241-300 nm yang merupakan karakteristik material K-dots. Setelah disintesis dengan logam besi, jangkauan serapannya adalah 200 sampai 450 nm tetapi intensitas serapannya menurun yang menunjukkan adanya ikatan antara material K-dots dengan ion logam besi. Hasil ini mengindikasikan bahwa material K-dots ini berpotensi untuk diaplikasikan sebagai material sensing ion logam besi. Dengan demikian, hasil-hasil penelitian ini dapat membuka peluang yang besar tentang pemanfaatan material K-dots sebagai sensor logam Fe dan ion-ion logam lainnya.*

**Kata kunci:** karbon nanodots; buah sirsak; serapan; sensing; ion logam.

## Abstract

*In this research, we demonstrate the process of fabrication, synthesis, and absorption spectrum analysis of the C-dots materials of soursop fruits from Kupang District, East Nusa Tenggara Province. The fabrication process of this C-dots material uses microwave method. The soursop juice (10 gram, 10 mL aquadest) was heated by microwave for an hour at 900 Watt. The color of this sample after heating on this condition is brownish black indicating the K-dots material has formed. Furthermore, aquadest (60 mL) was poured in this sample and sonicated for 30 minutes and centrifugated at 1500 rpm for 20 minutes. This sample was filtered and dialysed by aquadest. By irradiation with UV lamp at 365 nm, this C-dots material emitted grayish blue fluorescence. Based on its absorption spectrum, the absorption spectrum range of this C-dots material is from 200 to 450 nm with its absorption peak at wavelength from 241 to 300 nm which is the characteristic of the C-dots material. After synthesis process by using iron metal, the range of its absorption spectrum is from 250 to 450 nm but the its absorption intensity is decreased indicating the binding between C-dots and iron metal took place. This results indicated that C-dots material has potential to be applied as sensing material for iron metal ion. These research results can, therefore, pave a large opportunity about application of C-dots material as a sensor for iron metal and other metal ions*

**Keywords:** carbon nanodots; soursop fruit; absorption; sensing; metal ion.

## PENDAHULUAN

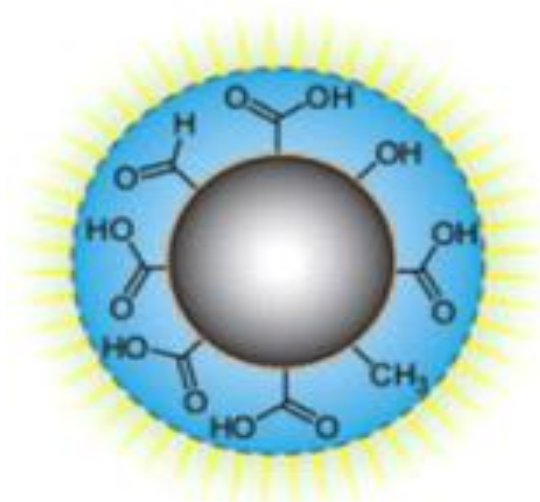
Besi merupakan salah satu elemen nutrisi penting dalam tubuh manusia bagi kesehatan manusia [1]. Juga besi merupakan unsur yang dibutuhkan dalam industri [2]. Namun demikian, jika konsentrasi logam besi tersebut tinggi

dalam tubuh manusia, akan menyebabkan timbulnya beberapa penyakit seperti ginjal dan Alzheimers's [1]. Besi merupakan salah satu bahan anorganik. Pada umumnya, bahan-bahan anorganik dalam aplikasinya dapat menyebabkan pencemaran lingkungan karena

mengandung toksitas tinggi [3–5]. Oleh karena itu, penggunaan material dari bahan-bahan organik merupakan solusi untuk mengatasi kekurangan material-material anorganik. Saat ini pemanfaatan material dalam ukuran nano memegang peran penting dalam pengembangan teknologi yang saat ini. Salah jenis material dalam ukuran nano yang terbuat dari bahan organik adalah material karbon nanodots (K-dots).

Sejauh ini, material K-dots telah digunakan sebagai sensor untuk mengukur konsentrasi ion-ion logam baik dalam tubuh manusia maupun dalam lingkungan sekitarnya merupakan sesuatu yang menarik dan perlu dilakukan secara efisien dan efektif [3]. Salah satu sifat khusus material K-dots sehingga dapat digunakan sebagai sensor adalah material K-dots berfluoresens dengan memancarkan warna tertentu. Melalui interaksi antara material K-dots dengan ion-ion logam, konsentrasi ion logam dapat ditentukan berdasarkan perubahan tingkat intensitas fluoresens material K-dots [6]. Selain itu, material K-dots memiliki photostabilitas yang tinggi [7,8] dan kandungan toksitas yang rendah [5,9], kelutannya baik dalam air, melimpah karena terbuat dari bahan-bahan organik dan tahan terhadap photobleaching [10]. Sifat-sifat material K-dots ini memberikan peluang yang besar sebagai material fungsional alternatif baru untuk monitoring konsentrasi logam besi [1] dan penerapan pada bidang lain. Fluoresens yang kuat dalam daerah tampak dan dekat daerah infra merah dari material K-dots menjadikan material K-dots dapat diaplikasikan sebagai material sensing dan bioimaging pada sistem jaringan tubuh [6,10–13].

Material K-dots merupakan material berdimensi nol (*zero dimensional*) dengan ukuran 2-10 nm [14]. Material K-dots tersusun atas unsur-unsur C, H, N, dan O dengan unsur C dan O memiliki komposisi massa yang besar. Komposisi massa unsur C, H, N dan O masing-masing adalah 53.9%, 2.6%, 1.2%, dan 40.3%. Sedangkan dalam material karbon biasa, komposisinya masing-masing adalah 91.7%, 1.8%, 1.8% dan 4.4%. Hasil ini menunjukkan bahwa proses pembuatan material K-dots adalah proses untuk mereduksi massa atom karbon menjadi massa atom oksigen sebagai bagian dari gugus karbonil [4,13].



Gambar 1. Struktur material molekuler K-dots

Struktur molekuler K-dots ditunjukkan pada Gambar 1 [15]. Material K-dots memiliki beberapa kelompok fungsional material seperti amino, epoxy, ether, carbonyl, hydroxyl and asam carboxylic [16]. Gugus hydroxyl inilah yang menyebabkan K-dots memiliki kelarutan yang baik dalam air [15]. Ukuran K-dots mempengaruhi sifat fluoresensnya. Semakin besar ukurannya, spektrum fluoresensnya bergeser ke arah panjang gelombang yang lebih besar, yang berarti nilai celah energinya semakin kecil sehingga material K-dots dapat berfungsi sebagai material semikonduktif [17,18].

Sejak material K-dots ditemukan oleh Sun, dkk pada tahun 2006 [19], sejumlah metode telah dikembangkan untuk memfabrikasi material K-dots seperti metode laser ablasi [19], microwave [3,20,21], hidrotermal [22], dan lain-lain. Sejauh ini, ada sejumlah penelitian tentang pembuatan material K-dots dari bahan-bahan organik seperti kulit semangka [23], bawang putih [24] dari china, buah apel [25], jus jeruk [26], dan buah pisang [27] dari India. Dalam penelitian ini, material K-dots dibuat dari daging buah sirsak asal kabupaten kupang, Propinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) dengan teknik microwave. Selanjutnya material K-dots disintesis dengan senyawa besi (III) klorida ( $\text{FeCl}_3$ ). Berdasarkan hasil iradiasi dengan lampu UV 365 nm, material K-dots yang diperoleh dalam penelitian ini memancarkan warna biru keabuan yang mengindikasikan material K-dots berfluoresens biru keabuan. Hasil-hasil penelitian ini membuka peluang yang besar

dalam pengembangan material-material produk lokal daerah NTT sebagai material sensing pada piranti-piranti elektronik.

## METODE PENELITIAN

### Material dan pengukuran

Buah sirsak dibeli di pasar Oesapa kota Kupang dengan memilih buah sirsak dari kabupaten Kupang. Bahan-bahan kimia seperti  $\text{FeCl}_3$ , PBS (*phosphate buffer solution*), aquades, etanol dan lain-lain dibeli di CV Sumber Ilmiah Persada, Surabaya dan di Toko Multiguna, Kupang. Seluruh bahan-bahan ini langsung digunakan tanpa pemurnian. Spektrum serapan material K-dots dan material kompleksnya diukur dengan spektroskopi UV-Vis di Laboratorium Biosains Undana. Warna pendaran material K-dots diiradiasi dengan lampu UV 365 nm di Laboratorium Fisika, FST Undana.

### Pembuatan material K-dots dari buah sirsak

Fabrikasi material K-dots dari jus buah sirsak menggunakan teknik microwave. Daging buah sirsak (60 gram) dalam 20 mL aquades diblender untuk membentuk jus sirsak. Jus sirsak (10gram) dilarutkan dengan 10 mL aquades dalam gelas kimia IWAKI dan dipanaskan dengan microwave berdaya 900 watt selama satu jam kemudian didinginkan dan ditambahkan 60 mL aquades untuk disonikasi selama 30 menit. Selanjutnya sampel ini disentrifugasi pada 1500 rpm selama 20 menit. Sampel ini disaring kemudian dimurnikan lagi dengan aquades selama 24 jam. Sampel ini dianalisis dengan spektroskopi UV-Vis, untuk memperoleh spektrum serapan dan jangkauan serapannya.

### Pengukuran spektrum serapan

Material K-dots dengan konsentrasi  $0.01 \text{ g.L}^{-1}$  ini dianalisis spektrum serapannya dengan spektroskopi UV-Vis dalam daerah pengukuran 200-800 nm.

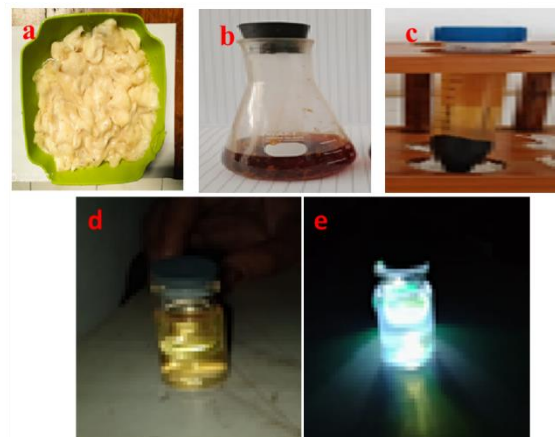
### Sintesis material K-dots dengan $\text{FeCl}_3$ dan pengukuran spektrum serapannya

Material K-dots ( $350 \mu\text{L}$ , 3 mL aquades) dicampur dengan PBS (1 mL, 0.2M, pH:7.0). Kemudian senyawa  $\text{FeCl}_3$  ( $50 \mu\text{L}$ , 2 mM) dimasukkan dalam larutan ini dan disonikasi selama 5 menit. Selanjutnya sampel ini diukur

spektrum serapan dengan spektroskopi UV-Vis dalam daerah pengukuran 200-800 nm.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

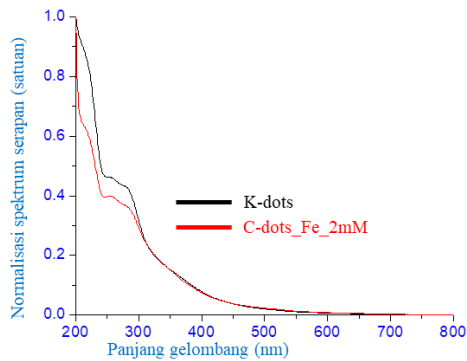
Dalam penelitian ini, daging buah sirsak (Gambar 2a) diblender untuk menghasilkan jus sirsak. Jus sirsak (10 gram, 10 mL aquades) dipanaskan dengan microwave (900 watt, 1 jam) dan hasilnya berwarna hitam (Gambar 2b). Warna hitam kecoklatan ini menunjukkan bahwa material K-dots dari daging buah sirsak telah terbentuk. Sampel ini didinginkan pada suhu kamar, kemudian ditambahkan 60 mL aquades untuk disonikasi dan disentrifugasi untuk memisahkan partikel-partikel besar (Gambar 2c) dan disaring dengan kertas saring. Sampel ini dimurnikan lagi dengan aquades selama 24 jam. Tujuan proses sonikasi ini untuk homogenitas larutan material K-dots dalam aquades.



Gambar 2. Daging buah sirsak a) sebelum dipanaskan, b) setelah dipanaskan dengan microwave, c) sampel setelah disentrifugasi, d) material K-dots sebelum diradiasi, e) material K-dots setelah diradiasi dengan lampu UV 365 nm

Berdasarkan hasil foto iradiasi dengan lampu UV 365 nm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2e, material K-dot ini memancarkan warna biru keabuan. Sedangkan tanpa diiradiasi, material K-dots berwarna kuning (Gambar 2d). Hasil ini menunjukkan bahwa Material-K dots memiliki fluoeresens atau pendaran biru keabuan. Pendaran material K-dots ini berpotensi untuk diaplikasikan sebagai material sensing pada berbagai piranti elektronik seperti sensor, laser dan lain-lain.

Material K-dots dengan pendaran warna warna biru keabuan ini sesuai dengan hasil-hasil yang telah ditemukan oleh ilmuwan lain [23,28,29]. Penemuan material K-dots berbasis produk lokal daerah NTT ini akan memberikan prospek yang besar dalam pengembangan produk-produk lokal daerah NTT sebagai material fungsional pada berbagai piranti elektronik.



Gambar 3. Normalisasi spektrum serapan K-dots (hitam) dan K-dots\_Fe (merah)

Spektrum serapan material K-dots (warna hitam) dan material K-dots yang disintesis dengan ion logam Besi ( $\text{Fe}^{3+}$ ) (warna merah) ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3, jangkauan spektrum serapan material K-dots adalah 200 – 450 nm. Puncak serapan dan tepi serapannya terjadi pada panjang gelombang masing-masing 241 nm dan 450 nm yang merupakan karakteristik dari serapan material K-dots. Hasil-hasil ini juga sesuai dengan hasil-hasil yang telah ditemukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya [23,28,29]. Hal yang menarik adalah ketika material K-dots berinteraksi dengan ion logam  $\text{Fe}^{3+}$ , intensitas serapan material K-dots pada daerah 241-300 nm menurun (grafik warna merah). Hasil ini menunjukkan bahwa material K-dots dapat berikatan dengan ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  untuk membentuk material K-dots kompleks. Ikatan ini terjadi antara atom O dari material K-dots dengan logam Fe. Penelitian ke depannya adalah material K-dots ini dapat diuji sebagai material sensing untuk menentukan konsentrasi ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  dengan mengukur perubahan intensitas fluoresensinya.

## KESIMPULAN

Material K-dots dari daging buah sirsak dapat diperoleh dengan menggunakan metode microwave. Material K-dots, dengan menggunakan iradiasi lampu UV 365 memancarkan warna biru keabuan dan jangkauan spektrum serapannya dari 200 sampai 450 nm dengan puncak serapan terjadi pada 241-300 nm yang merupakan karakteristik spektrum serapan dari material K-dots. Ketika material K-dots ini berinteraksi dengan ion logam  $\text{Fe}^{3+}$ , intensitas serapan material K-dots pada daerah 241-300 nm menurun karena terjadinya ikatan antara material K-dots dengan ion logam  $\text{Fe}^{3+}$ . Penurunan intensitas serapan mengindikasikan bahwa material K-dots berpotensi digunakan sebagai sensing untuk ion logam Fe dan ion-ion logam lainnya. Hasil-hasil penelitian ini dapat membuka peluang besar dalam pengembangan riset pada pemanfaatan material-material produk lokal daerah NTT sebagai material fungsional pada berbagai piranti elektronik. Penelitian ini perlu dilanjutkan ke depannya dengan pengukuran spektrum fluoresens material K-dots sebelum dan sesudah disintesis dengan logam Fe untuk mengetahui keefektifan material K-dots sebagai sensing ion logam  $\text{Fe}^{3+}$ .

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, kami mengucapkan terima kasih kepada Universitas Nusa Cendana melalui dana DIPA Program Studi Fisika FST tahun anggaran 2020 yang telah menyediakan dana untuk mendanai penelitian ini

## DAFTAR PUSTAKA

- 1 Zhang, S., Li, J., Zeng, M., Xu, J., Wang, X., dan Hu, W., 2014, Polymer Nanodots of Graphitic Carbon Nitride as effective Fluorescent Probes for the Detection Of  $\text{Fe}^{3+}$  dan  $\text{Cu}^{2+}$  ions, *Nanoscale*, **6**, 4157–4162..
- 2 Vedamalai, M., Periasamy, A. P., Wang, C. W., Tseng, Y. T., Ho, L. C., Shih, C. C., and Chang, H. T., 2014, “Carbon Nanodots Prepared from O-Phenylenediamine for Sensing of  $\text{Cu}^{2+}$  Ions in Cells,” *Nanoscale*, **6**(21), pp. 13119–13125.
- 3 Zhu, H., Wang, X., Li, Y., Wang, Z.,

- Yang, F., dan Yang, X., 2009, Microwave Synthesis of Fluorescent Carbon Nanoparticles with Electrochemiluminescence Properties, *Chem. Commun.*, (34), 5118–5120.
- 4 Gupta, V., Chaudhary, N., Srivastava, R., Sharma, G. D., Bhardwaj, R., dan Chand, S., 2011, Luminescent Graphene Quantum Dots for Organic Photovoltaic Devices, *J. Am. Chem. Soc.*, **133**(26), 9960–9963.
- 5 Zhang, B., Liu, C. Y., dan Liu, Y., 2010, A Novel One-Step Approach to Synthesize Fluorescent Carbon Nanoparticles, *Eur. J. Inorg. Chem.*, (28), 4411–4414.
- 6 Guo, X., Zhu, Y., Zhou, L., Zhang, L., You, Y., Zhang, H., dan Hao, J., 2018, A Facile and Green Approach to Prepare Carbon Dots with PH-Dependent Fluorescence for Patterning and Bioimaging, *RSC Adv.*, **8**(66), 38091–38099.
- 7 Li, H., He, X., Kang, Z., Huang, H., Liu, Y., Liu, J., Lian, S., Tsang, C. H. A., Yang, X., dan Lee, S. T., 2010, Water-Soluble Fluorescent Carbon Quantum Dots and Photocatalyst Design, *Angew. Chemie - Int. Ed.*, **49**(26), 4430–4434.
- 8 Li, X., Wang, H., Shimizu, Y., Pyatenko, A., Kawaguchi, K., dan Koshizaki, N., 2011, Preparation of Carbon Quantum Dots with Tunable Photoluminescence by Rapid Laser Passivation in Ordinary Organic Solvents, *Chem. Commun.*, **47**(3), 932–934.
- 9 Nie, H., Li, M., Li, Q., Liang, S., Tan, Y., Sheng, L., Shi, W., dan Zhang, S. X. A., 2014, Carbon Dots with Continuously Tunable Full-Color Emission and Their Application in Ratiometric PH Sensing, *Chem. Mater.*, **26**(20), 3104–3112.
- 10 Li, H., Kang, Z., Liu, Y., dan Lee, S. T., 2012, Carbon Nanodots: Synthesis, Properties and Applications, *J. Mater. Chem.*, **22**(46), 24230–24253.
- 11 Bourlinos, A. B., Zbořil, R., Petr, J., Bakandritsos, A., Krysmann, M., dan Giannelis, E. P., 2012, Luminescent Surface Quaternized Carbon Dots, *Chem. Mater.*, **24**(1), 6–8.
- 12 Li, C. L., Ou, C. M., Huang, C. C., Wu, W. C., Chen, Y. P., Lin, T. E., Ho, L. C., Wang, C. W., Shih, C. C., Zhou, H. C., Lee, Y. C., Tzeng, W. F., Chiou, T. J., Chu, S. T., Cang, J., dan Chang, H. T., 2014, Carbon Dots Prepared from Ginger Exhibiting Efficient Inhibition of Human Hepatocellular Carcinoma Cells, *J. Mater. Chem. B*, **2**(28), 4564–4571.
- 13 Miao, P., Han, K., Tang, Y., Wang, B., Lin, T., dan Wenbo, C., 2014, Recent Advances in Carbon Nanodots: Synthesis, Properties and Biomedical Application,” *Nanoscale*, 1–9.
- 14 Tuerhong, M., XU, Y., dan Yin, X. B., 2017, “Review on Carbon Dots dan Their Applications,” *Chinese J. Anal. Chem.*, **45**(1), 139–150.
- 15 Baker, S. N., dan Baker, G. A., 2010, Luminescent Carbon Nanodots: Emergent Nanolights, *Angew. Chemie - Int. Ed.*, **49**(38), 6726–6744.
- 16 Roy, P., Chen, P., Periasamy, A. P., Chen, Y., dan Chang, H., 2015, Photoluminescent Carbon Nanodots: Synthesis, Physicochemical Properties and Analytical Applications, *Mater. Today*, 1–12.
- 17] Liu, H., Ye, T., dan Mao, C., 2007, Fluorescent Carbon Nanoparticles Derived from Candle Soot, *Angew. Chemie - Int. Ed.*, **46**(34), 6473–6475.
- 18 Wang, X., Qu, K., Xu, B., Ren, J., dan Qu, X., 2011, Multicolor Luminescent Carbon Nanoparticles: Synthesis, Supramolecular Assembly with Porphyrin, Intrinsic Peroxidase-like Catalytic Activity and Applications, *Nano Res.*, **4**(9), 908–920.
- 19 S Sun, Y. P., Zhou, B., Lin, Y., Wang, W., Fernando, K. A. S., Pathak, P., Mezziani, M. J., Harruff, B. A., Wang, X., Wang, H., Luo, P. G., Yang, H., Kose, M. E., Chen, B., Veca, L. M., dan Xie, S. Y.,

- 2006, Quantum-Sized Carbon Dots for Bright and Colorful Photoluminescence, *J. Am. Chem. Soc.*, **128**(24), 7756–7757.
- 20 Qin, X., Lu, W., Asiri, A. M., Al-Youbi, A. O., dan Sun, X., 2013, Microwave-Assisted Rapid Green Synthesis of Photoluminescent Carbon Nanodots from Flour and Their Applications for Sensitive and Selective Detection of Mercury(II) Ions, *Sensors Actuators, B Chem.*, **184**, 156–162.
- 21 Wang, Q., Liu, X., Zhang, L., dan Lv, Y., 2012, Microwave-Assisted Synthesis of Carbon Nanodots through an Eggshell Membrane dan Their Fluorescent Application, *Analyt.*, **137**(22), 5392–5397.
- 22 Sha, Y., Lou, J., Bai, S., Wu, D., Liu, B., dan Ling, Y., 2013, Hydrothermal Synthesis of Nitrogen-Containing Carbon Nanodots as the High-Efficient Sensor for Copper(II) Ions, *Mater. Res. Bull.*, **48**(4), 1728–1731.
- 23 Zhou, J., Sheng, Z., Han, H., Zou, M., dan Li, C., 2012, Facile Synthesis of Fluorescent Carbon Dots Using Watermelon Peel as a Carbon Source, *Mater. Lett.*, **66**(1), 222–224.
- 24 Zhao, S., Lan, M., Zhu, X., Xue, H., Ng, T. W., Meng, X., Lee, C. S., Wang, P., dan Zhang, W., 2015, Green Synthesis of Bifunctional Fluorescent Carbon Dots from Garlic for Cellular Imaging and Free Radical Scavenging,” *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **7**(31), 17054–17060.
- 25 Mehta, V. N., Jha, S., Basu, H., Singhal, R. K., dan Kailasa, S. K., 2015, One-Step Hydrothermal Approach to Fabricate Carbon Dots from Apple Juice for Imaging of Mycobacterium and Fungal Cells, *Sensors Actuators, B Chem.*, **213**, 434–443.
- 26 Sahu, S., Behera, B., Maiti, T. K., dan Mohapatra, S., 2012, Simple One-Step Synthesis of Highly Luminescent Carbon Dots from Orange Juice: Application as Excellent Bio-Imaging Agents,” *Chem. Commun.*, **48**(70), 8835–8837.
- 27 De, B., dan Karak, N., 2013, A Green and Facile Approach for the Synthesis of Water Soluble Fluorescent Carbon Dots from Banana Juice, *RSC Adv.*, **3**(22), 8286–8290.
- 28 Zhang, S., Li, J., Zeng, M., Xu, J., Wang, X., dan Hu, W., 2014, Polymer Nanodots of Graphitic Carbon Nitride as Effective Fluorescent Probes for the Detection of Fe<sup>3+</sup> and Cu<sup>2+</sup> Ions, *Nanoscale*, **6**(8), 4157–4162.
- 29 Lu, W., Qin, X., Liu, S., Chang, G., Zhang, Y., Luo, Y., Asiri, A. M., Al-Youbi, A. O., dan Sun, X., 2012, Economical, Green Synthesis of Fluorescent Carbon Nanoparticles and Their Use as Probes for Sensitive and Selective Detection of Mercury(II) Ions, *Anal. Chem.*, **84**(12), 5351–5357.

