

## **ANALISIS SPEKTRUM SERAPAN DAN PHOTOLUMINESSENS KARBON NANODOTS (K-DOTS) BERBASIS SEKAM PADI ASAL KABUPATEN KUPANG**

**Maria A. Jaya, Albert Zicko Johannes, Redi K. Pingak, Zakarias Seba Ngara**

*Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto Penfui, Kupang,  
Nusa Tenggara Timur, Indonesia*

*Corresponding author: zakariasngara@staf.undana.ac.id*

### **Abstrak**

*Dalam penelitian ini, Kami mendemonstrasikan proses fabrikasi dan analisis spektrum serapan dan photoluminesens material karbon nanodots (K-dots) berbasis sekam padiasal kabupaten Kupang, Propinsi Nusa Tenggara Timur (NTT). Proses fabrikasi K-dots dari sekam padi adalah sekam padi (20 gram) dalam bentuk serbuk dipanaskan dengan furnace pada suhu 400°C selama 30 menit, kemudian didinginkan pada suhu kamar. Selanjutnya 0,5gram sekam padi yang sudah dipanaskan dilarutkan dalam 5 mL etanol untuk disonikasi selama satu jam kemudian 8 mL ditambahkan ke dalam sampel ini untuk proses sentrifugasi pada 1000 rpm selama 30 menit. Larutan etanol yang mengandung K-dots disaring untuk memperoleh material K-dots. Selanjutnya K-dots ini dengan konsentrasi 0.25 ppm diukur spektrum serapan dan photoluminisensnya. Berdasarkan analisis spektrum serapannya, jangkauan spektrum serapan dari 250 sampai dengan 400 nm dengan puncak serapannya terjadi pada panjang gelombang 276 nm yang merupakan karakteristik dari material K-dots. Celah energi K-dots ini adalah 3.1 eV. Ketika dieksitasi pada panjang gelombang 350 nm, jangkauan spektrum photoluminesens K-dots adalah 360 sampai dengan 650 nm dengan puncak photoluminesens nya terjadi pada 426 nm yang konsisten dengan warna emisi biru K-dots ketika diradiasi dengan lampu UV 365 nm. K-dots yang memancarkan warna biru ini akan memberikan peluang untuk diaplikasikan sebagai material sensing pada berbagai piranti elektronik.*

**Kata kunci:** *spektrum serapan, photoluminesens, k-dots, sekam padi*

### **Abstract**

*In this work, we demonstrate the process of fabrication and analysis the absorption spectrum and photoluminescence of carbon nanodots (C-dots) materials based rice husks from Kupang regency, East Nusa Tenggara (NTT) Province. The fabrication process of C-dots from rice husk is rice husk 200 grams) in powder heated by furnace at 400°C for 30 minutes to realize black rice husk. The product was cooled down to room temperature. Then, 0.5 gram from this sample was dissolved in 5 mL of ethanol to be sonicated for an hour and ethanol (8 mL) were added again to this sample to be centrifuged at 1000 rpm for 30 minutes. The ethanol solution containing C-dots was filtered to obtain C-dots materials. Furthermore, the C-dots with a concentration of 0.25 ppm were measured their absorption and photoluminescence spectra. Based on the absorption spectrum analysis, the absorption spectrum ranges is from 250 to 400 nm with its absorption peak at wavelength of 276 nm which is the characteristic of C-dots. The energy gap of these C-dots is 3.1 eV. When upon excited at wavelength of 350 nm, the range of photoluminescence spectrum is 360 to 650 nm with the photoluminescence peak at 426 nm which is consistent with the blue emission color of the C-dots when irradiated with UV lamp at 365 nm. C-dots that emit blue color will provide opportunity to be applied as a sensing material in various electronic devices.*

**Keywords:** *absorption spectrum, photoluminescence, c-dots, rice husk*

## **PENDAHULUAN**

Nanomaterial berpendar merupakan salah satu fokus riset terbaru dalam ilmu material mengingat sifat-sifat fisika dan kimia nanomaterial yang lebih baik daripada material berukuran makro. Sifat fluoresens dan stabilitas yang tinggi dari nanomaterial ini menyebabkan nanomaterial dapat digunakan sebagai material sensing pada berbagai piranti elektronik [1]. dapat Salah satu contoh nanomaterial yang berpendar ketika diradiasi adalah karbon nanodots (K-dots) yang ditemukan oleh Sun, dkk., pada tahun 2006[2]. Penemuan material K-dots ini diawali dengan penemuan material karbon-nanotube pada tahun 2004 oleh Xu, dkk.[3].

Pada dasarnya, material K-dots dapat dibuat dari bahan anorganik ataupun bahan organik. Namun demikian, material K-dots yang terbuat dari bahan-bahan anorganik memiliki kekurangan, yaitu mengandung racun yang tinggi sehingga dapat membatasi aplikasinya dalam kehidupan manusia karena dapat mencemarkan lingkungan [4,5]. Untuk mengatasi kekurangan dari material K-dots yang terbuat dari bahan-bahan anorganik ini, Fabrikasi K-dots dari material organik merupakan salah satu solusinya mengingat material-material organik mengandung nilai racun rendah sehingga dalam penerapannya tidak menyebabkan pencemaran lingkungan [4]. Material K-dots merupakan material carbon nanomaterial dengan ukuran antara 2 dan 10 nm[6]. Material K-dots selain memiliki sifat fluoresens dan photostabilitas yang tinggi [7], material K-dots juga memiliki kelarutan yang baik dalam air dan tahan terhadap photo-bleaching[7,8], memiliki racun yang rendah [6,9].

Sejak ditemuka material K-dots pada tahun 2006, fabrikasi, kajian sifat fisika dan kimia K-dots serta penerapannya sebagai material fungsional pada berbagai piranti elektronik seperti sensor [10–14], Bioimaging dan biomedikal (*drug delivery*)[15,16], solar cell [5], dan lain-lain. Sejauh ini, fabrikasi dan kajian sifat-sifat K-dots dari bahan organik telah dilakukan seperti kulit semangka [17], bawang putih dari China, [18], Jus apel [19], jus jeruk [20], buah pisang [21] dari India, jus sirsak dari kabupaten Kupang, Indonesia[22].

Dalam penelitian ini, kami akan memfabrikasi material K-dots dari kulit padi asal kabupaten Kupang, Propinsi Nusa Tenggara Timur, Indonesia. Indonesia merupakan negara agraris, di mana sebagian besar penduduknya bekerja di sektor pertanian. Salah satu produk utama pertanian di Indonesia adalah padi termasuk di Kabupaten kupang. Padi merupakan salah satu tanaman yang cukup penting bagi kehidupan manusia khususnya di Indonesia. Hal ini dikarenakan padi adalah salah satu komoditi utama sebagai sumber karbon hidrat bagi manusia. Akan tetapi, kulit padi yang disebut sekam padi merupakan bagian yang dibuat oleh masyarakat. Pada hal, sekam padi mengandung unsur karbon yang tinggi yang jika diolah akan dapat menghasilkan senyawa K-dots yang dapat bermanfaat bagi kehidupan manusia. Hal inilah yang mendorong bagi kami untuk melakukan kajian pembuatan K-dots dari sekam padi asal daerah Oesao, Kabupaten Kupang.

Berdasarkan hasil kajian yang kami telah lakukan, K-dots dari sekam padi memiliki serapan maksimum pada 276 nm dan memancarkan warna biru. Hal menarik adalah ketika K-dots diiradiasi dengan lampu UV pada 365 nm, K-dots ini memiliki puncak fluoresens pada panjang gelombang 422 nm yang bersesuaian dengan warna emisi birunya. Oleh karena itu, pendaran warna biru dari K-dots ini dapat digunakan sebagai material sensing pada berbagai divais elektronik.

## **PROSEDUR EKSPERIMEN**

### **Fabrikasi K-dots dari sekam padi**

Sekam padi (1kg) diblender kemudian diayak untuk mendapatkan serbuk sekam padi. Sebanyak 20gram sekam padi di bakar menggunakan furnace pada suhu 400°C selama 30 menit untuk mendapatkan sampel berwarna hitam. warna hitam ini menunjukkan bahwa material karbon sudah terbentuk. Kemudian, 0,5 gram sekam padi yang sudah dibakar dilarutkan dalam 5mL etanol untuk disonikasi selama satu jam. Setelah itu, ditambahkan 8 mL etanol lagi ke dalam sampel ini untuk disentrifugasi 1000 rpm selama 20 menit untuk memisahkan K-dots dari karbon biasa. Selanjutnya larutan etanol yang mengandung K-dots disaring untuk memperoleh K-dots setelah disimpan selama 24 jam. Untuk membuktikan bahwa K-dots telah diperoleh dari sekam padi, K-dots dalam larutan etanol diradiasi dengan lampu UV pada 365 nm apakah K-dots ini berpendar atau tidak. Jika berpendar, itu artinya K-dots telah berhasil diperoleh dari sekam padi.

### **Pengukuran Spektrum Serapan K-dots**

K-dots dengan konsentrasi 0,04, 0,14, dan 0,25 ppm diukur spektrum serapannya dengan spektrophotometer UV-Vis pada daerah 200-800 nm dilaboratorium BioSains Undana, Kupang

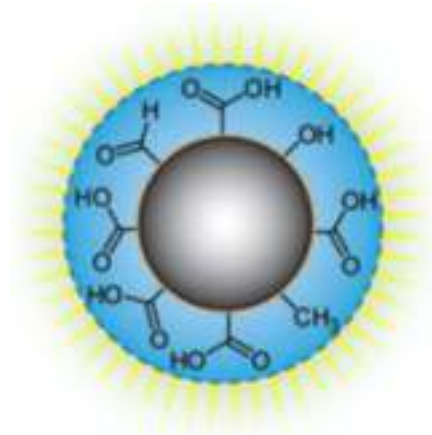
### **Pengukuran Spektrum Fluoresens**

K-dots dengan konsentrasi 0,25 ppm diukur spektrum fluoresensnya dengan spektrofлуorometer model SHIMADZU RF-6000 di laboratorium LPPT UGM, Yogyakarta.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

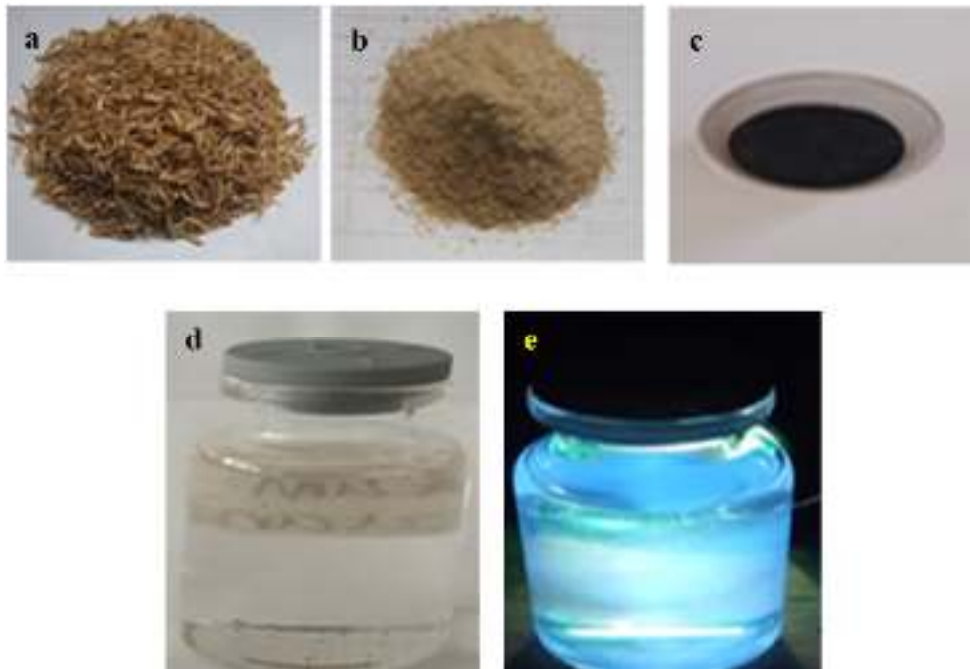
### Struktur molekul dan Fabrikasi K-dots dari sekam padi.

Gambar 1 menyajikan struktur molekul material K-dots [23]. Material K-dots dengan ukuran kurang dari 10 nm tersusun atas unsur-unsur C, H, N, dan O dengan unsur C dan O memiliki komposisi massa yang besar karena kehadiran gugus asam karboxylic (Gambar 1) sehingga K-dots memiliki kelarutan yang baik dalam air. Dalam material K-dots, 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 atom oksigen sebagai bagian dari gugus karbonil. Material K-dots memiliki beberapa kelompok fungsional material seperti amino, epoxy, ether, carbonyl, hydroxyl and asam carboxylic. Gugus hydroxyl inilah yang menyebabkan material K-dots memiliki kelarutan yang baik dalam air [7].

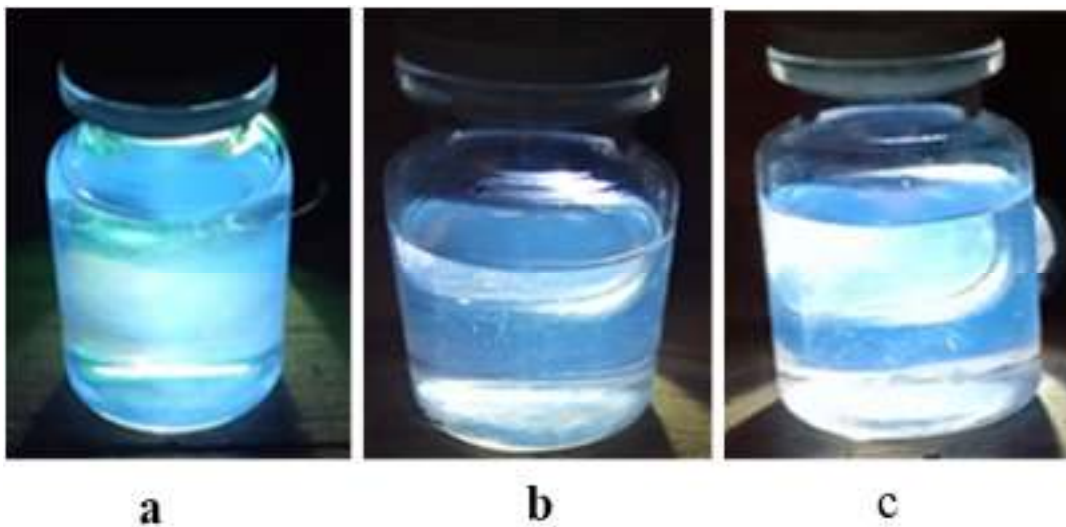


Gambar 1. Struktur molekul K-dots

Dalam penelitian ini, fabrikasi K-dots dari sekam padi (Gambar 2.a) dilakukan dengan pembakaran serbuk sekam padi (20 gram, Gambar 2b)) menggunakan furnace pada suhu 400<sup>0</sup> C selama 30 menit untuk memperoleh sampel berwarna hitam (Gambar 2c). Sampel berwarna hitam ini menunjukkan bahwa material K-dots telah terbentuk. Kemudian 0,5 gram sampel warna hitam dilarutkan dalam 5 mL etanol dan dengan melalui proses sonikasi, sentrifugasi dan penyaringan, material K-dots diperoleh. Material K-dots ini diradiasi dengan lampu UV pada 365 nm dan memancarkan warna emisi biru seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2e. sedangkan Gambar 2d menunjukkan K-dots tanpa radiasi dengan lampu UV pada 356 nm. Warna pendaran biru dari K-dots ini menunjukkan bahwa sekam padi dapat disintesis untuk menghasilkan material K-dots. Warna pendaran biru dari k-dots ini bersesuaian dengan hasil-hasil pendaran K-dots yang telah dilakukan oleh orang lain sebelumnya [17,22]. Hal yang lebih penting adalah adalah K-dots yang berpendar ini dapat digunakan sebagai sensor [10–14], dan bioimaging [15–17]. Hal yang menarik adalah ketika K-dots dari sekam padi ini diradiasi dengan lampu UV pada 365 nm setelah satu bulan dan 3 bulan, material K-dots masih tetap memancarkan warna biru walaupun tingkat pancarannya mulai berkurang seperti yang dinyatakan pada Gambar 3. Hal ini merupakan suatu tantangan dalam bidang penelitian selanjutnya, yaitu bagaimana caranya untuk mempertahankan warna pendarannya dalam waktu yang lama sehingga tinggi tingkat photostabilitas tinggi.



Gambar 2. (a) Sekam padi, (b) serbuk sekam padi, (c) sekam padi yang sudah dibakar, (d) K-dots tanpa radiasi, (e) K-dots yang diradiasi dengan lampu UV 365 nm



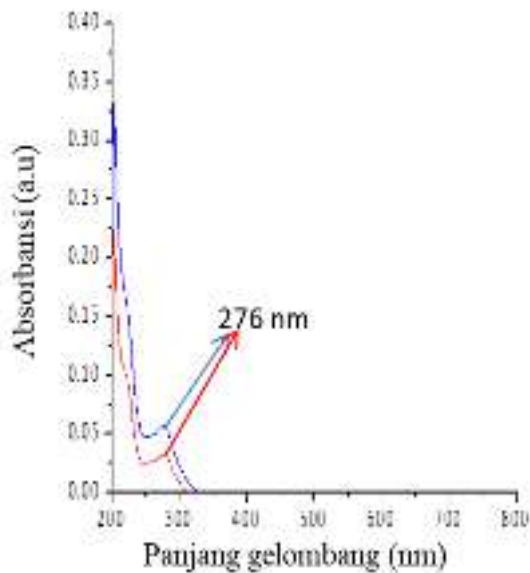
Gambar 3. Warna pendaran K-dots (a) permulaan, (b) setelah satu bulan, (c) setelah 3 bulan

#### Spektrum serapan dan Fluoresens K-dots dari sekam padi

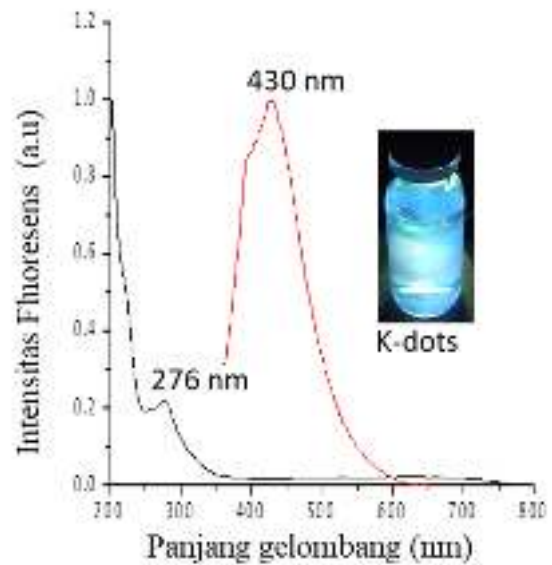
Gambar 4 menunjukkan spektrum serapan K-dots dengan konsentrasi 0,14 (merah) dan 0,25 ppm (biru). Berdasarkan Gambar 4, K-dots memiliki daerah serapan maksimum pada panjang gelombang 276

nm yang merupakan karakteristik dari material K-dots. Daerah serapan ini merupakan transisi  $\pi \rightarrow \pi^*$  [6,9]. Hal menarik adalah, ketika konsentrasinya ditingkatkan, posisi serapan maksimumnya tidak bergeser artinya, K-dots ini tidak mengalami sifat batookromik atau fitokromik. Semakin besar konsentrasinya, nilai absorbansinya semakin besar, yaitu 0.033 dan 0.057 jmasing-masing untuk konsentrasi 0,14 dan 0,25 ppm. Juga semakin besar konsentrasi, semakin besar jangkauan serapannya, yaitu 240 sampai dengan 315 nm untuk 0,14 ppm dan 240 sampai dengan 325 nm untuk 0,25 ppm. Hal ini sesuai dengan hukum Beer-lambert. Koefisien serapan yang diperoleh pada konsentrasi 0,25 ppm adalah  $13,1 \text{ m}^{-1}$

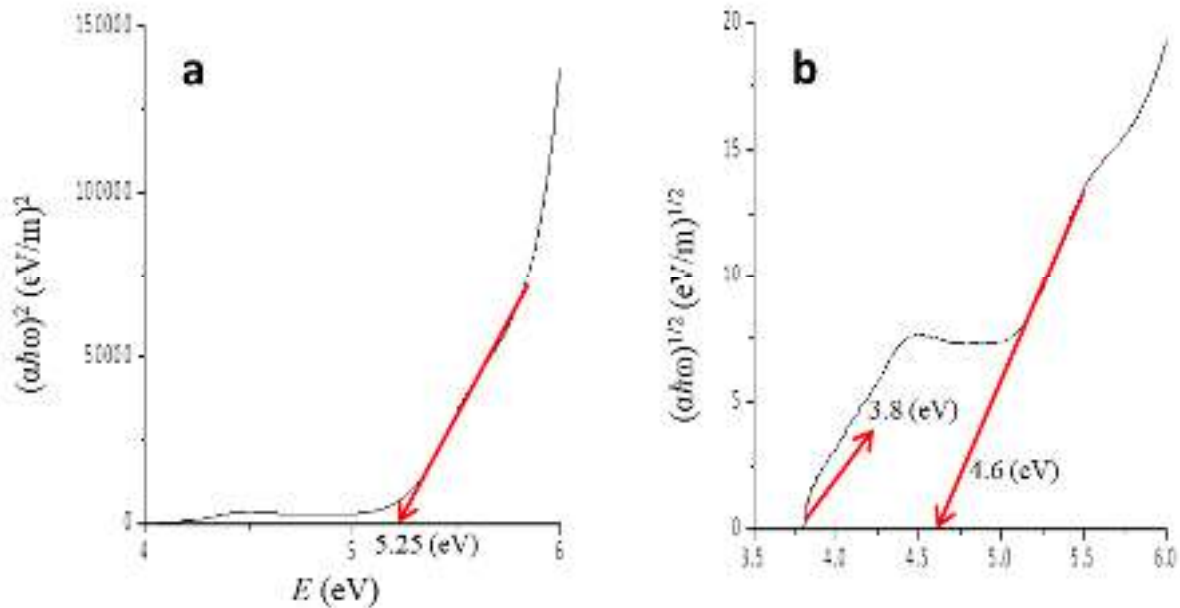
Gambar 5 meunjukkan spktrum serapan K-dots dengan konsentrasi 0.25 ppm (hitam) dan spektrum fluoresensnya (merah, 0.25 ppm). Berdasarkan Gambar 5, Posisi puncak intensitas fluoresens terjadi pada panjang gelombang 430 nm yang sesuai dengan warna pendaran K-dots, yaitu memancarkan warna biru seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 sisipan). Berdasarkan Gambar 5, pergeseran stokes untuk material K-dots ini adalah 2,85 eV.



Gambar 4. Spektrum serapan K-dots (merah:0,14 ppm; Biru: 0,25 ppm)



Gambar 5. Spektrum serapan K-dots (hitam) spektrum fluoresens K-dots (merah). Sisipan: K-dots ketika diradiasi dengan lampu UV pada 365 nm



Gambar 6. (a) Kurva celah energi langsung (direct), (b) kurva celah energi tidak langsung (indirect) K-dots dari sekam padi

Berdasarkan Gambar 4 untuk spektrum serapan dengan konsentrasi K-dots sebesar 0.25 ppm, Nilai celah energi K-dots dari sekam padi adalah 3,81 eV yang bersesuaian dengan panjang gelombang pada tepi serapannya, yaitu 325 nm. Dengan menggunakan perumusan celah energi langsung (*direct*):  $(\alpha\hbar\omega)^2 = A(\hbar\omega - E_g)$  dan celah energi tidak langsung (*indirect*):  $(\alpha\hbar\omega)^{1/2} = A(\hbar\omega - E_g)$  [24,25], diperoleh nilai celah energi langsung dan tidak langsung dari K-dots seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Berdasarkan Gambar 6a dan 6b, nilai celah energi langsung dari K-dots adalah 5,25 eV. Sedangkan Celah energi tidak langsung K-dots adalah 3,8 eV dan 4,6 eV. Nilai celah energi tidak langsung sebesar 3,8 eV ini sama dengan nilai celah energi dari K-dots yang dihitung dengan menggunakan panjang gelombang pada tepi serapan. Dengan demikian, K-dots dari sekam padi memiliki celah energi tidak langsung (*indirect*). Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat diketahui bahwa nilai celah energi K-dots lebih kecil daripada nilai celah energi material karbon biasa ( $\approx 5,5$  eV).

#### KESIMPULAN

Material K-dots dari sekam padi dapat diperoleh dengan metode sederhana, yaitu melalui proses pembakaran yang diikuti dengan proses sonikasi, sentrifugasi dan penyaringan. Material K-dots dari sekam padi memancarkan warna biru yang bersesuaian dengan posisi puncak intensitas fluoresensnya pada panjang gelombang 430 nm. Material K-dots ini juga memiliki daerah serapan maksimum pada 276 nm yang merupakan karakteristik dari material k-dots umumnya. Nilai celah energi dan koefisien serapan dari material K-dots ini masing-masing adalah 3,81 eV dan  $13,1 \text{ m}^{-1}$ . Hasil-hasil penelitian ini khususnya pendaran warna biru dari K-dots dapat membuka sebuah peluang untuk aplikasi material K-dots ini sebagai material sensing dan bioimaging pada berbagai piranti elektronik.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, kami mengucapkan terima kasih kepada Kepala Laboratorium Fisika Fakultas Sains Dan Teknik Universitas Nusa Cendana yang telah membantu menyediakan beberapa peralatan untuk proses fabrikasi K-dots, Kepala Laboratorium Biosains Undana yang telah membantu untuk pengukuran



spektrum serapan K-dots dan kepala laboratorium LPPT UGM yang telah membantu untuk pengukuran spektrum fluoresens K-dots.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Zhou, L., Lin, Y., Huang, Z., Ren, J., and Qu, X., 2012, Carbon Nanodots as Fluorescence Probes for Rapid, Sensitive, and Label-Free Detection of Hg<sup>2+</sup> and Biothiols in Complex Matrices, *Chem. Commun.*, **48**(8), pp. 1147–1149.
2. 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., and Xie, S. Y., 2006, Quantum-Sized Carbon Dots for Bright and Colorful Photoluminescence, *J. Am. Chem. Soc.*, **128**(24), pp. 7756–7757.
3. 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**(40), pp. 12736–12737.
4. Zhu, H., Wang, X., Li, Y., Wang, Z., Yang, F., and Yang, X., 2009, Microwave Synthesis of Fluorescent Carbon Nanoparticles with Electrochemiluminescence Properties, *Chem. Commun.*, (34), pp. 5118–5120.
5. Gupta, V., Chaudhary, N., Srivastava, R., Sharma, G. D., Bhardwaj, R., and Chand, S., 2011, Luminescent Graphene Quantum Dots for Organic Photovoltaic Devices, *J. Am. Chem. Soc.*, **133**(26), pp. 9960–9963.
6. Liu, W., Diao, H., Chang, H., Wang, H., Li, T., and Wei, W., 2017, Green Synthesis of Carbon Dots from Rose-Heart Radish and Application for Fe<sup>3+</sup> Detection and Cell Imaging, *Sensors Actuators, B Chem.*, **241**, pp. 190–198.
7. Li, H., He, X., Kang, Z., Huang, H., Liu, Y., Liu, J., Lian, S., Tsang, C. H. A., Yang, X., and Lee, S. T., 2010, Water-Soluble Fluorescent Carbon Quantum Dots and Photocatalyst Design, *Angew. Chemie - Int. Ed.*, **49**(26), pp. 4430–4434.
8. Li, H., Kang, Z., Liu, Y., and Lee, S. T., 2012, Carbon Nanodots: Synthesis, Properties and Applications, *J. Mater. Chem.*, **22**(46), pp. 24230–24253.
9. Lu, W., Qin, X., Liu, S., Chang, G., Zhang, Y., Luo, Y., Asiri, A. M., Al-Youbi, A. O., and 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), pp. 5351–5357.
10. Zhang, S., Li, J., Zeng, M., Xu, J., Wang, X., and Hu, W., 2014, Polymer Nanodots of Graphitic Carbon Nitride as Effective Fluorescent Probes for the Detection of, *Nanoscale*, **6**, pp. 4157–4162.
11. Qin, X., Lu, W., Asiri, A. M., Al-Youbi, A. O., and 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**, pp. 156–162.
12. Wei, W., Xu, C., Ren, J., Xu, B., and Qu, X., 2012, Sensing Metal Ions with Ion Selectivity of a Crown Ether and Fluorescence Resonance Energy Transfer between Carbon Dots and Graphene, *Chem. Commun.*, **48**(9), pp. 1284–1286.
13. 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 Cu<sup>2+</sup> Ions in Cells, *Nanoscale*, **6**(21), pp. 13119–13125.
14. Liu, Y., Zhao, Y., and Zhang, Y., 2014, One-Step Green Synthesized Fluorescent Carbon Nanodots from Bamboo Leaves for Copper(II) Ion Detection, *Sensors Actuators, B Chem.*, **196**, pp. 647–652.
15. Bourlinos, A. B., Zbořil, R., Petr, J., Bakandritsos, A., Krysmann, M., and Giannelis, E. P., 2012, Luminescent Surface Quaternized Carbon Dots, *Chem. Mater.*, **24**(1), pp. 6–8.
16. Cao, L., Wang, X., Mezziani, M. J., Lu, F., Wang, H., Luo, P. G., and Lin, Y., 2007, Carbon Dots for Multiphoton Bioimaging, *J. Am. Chem. Soc.*, **129**, pp. 11318–11319.

17. Zhou, J., Sheng, Z., Han, H., Zou, M., and Li, C., 2012, Facile Synthesis of Fluorescent Carbon Dots Using Watermelon Peel as a Carbon Source, *Mater. Lett.*, **66**(1), pp. 222–224.
18. Zhao, S., Lan, M., Zhu, X., Xue, H., Ng, T. W., Meng, X., Lee, C. S., Wang, P., and 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), pp. 17054–17060.
19. Mehta, V. N., Jha, S., Basu, H., Singhal, R. K., and 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**, pp. 434–443.
20. Sahu, S., Behera, B., Maiti, T. K., and 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), pp. 8835–8837.
21. De, B., and Karak, N., 2013, A Green and Facile Approach for the Synthesis of Water Soluble Fluorescent Carbon Dots from Banana Juice, *RSC Adv.*, **3**(22), pp. 8286–8290.
22. Ngara, Z. S., Pasangka, B., Ngana, F. R., and Elin, A., 2021, Synthesis of Carbon Nanodots Material from Soursop Juice with Ferric Metal and the Study of Their Absorption Spectrum, *J. Fis. sains dan Apl.*, **6**(1), pp. 1–7.
23. Baker, S. N., and Baker, G. A., 2010, Luminescent Carbon Nanodots: Emergent Nanolights, *Angew. Chemie - Int. Ed.*, **49**(38), pp. 6726–6744.
24. Serpone, N., Lawless, D., and Khairutdinov, R., 1995, Size Effects on the Photophysical Properties of Colloidal Anatase TiO<sub>2</sub> Particles: Size Quantization or Direct Transitions in This Indirect Semiconductor?, *J. Phys. Chem.*, **99**(45), pp. 16646–16654.
25. Ngara, Z. S., 2013, *Metode Fisika Eksperimen*, Edisi pertama, Penerbit Gita kasih, Kupang