

## KARAKTERISASI SIFAT OPTIK C-DOTS DARI KULIT LUAR SINGKONG MENGUNAKAN TEKNIK MICROWAVE

Permono Adi Putro<sup>1</sup>, Lizzulfah Roza<sup>2</sup>, Isnaeni<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka

<sup>3</sup> Pusat Penelitian Fisika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

Email: <sup>1</sup>permonoadi29@gmail.com, <sup>2</sup>lizzulfahroza@gmail.com,  
<sup>3</sup>isnaeniusman@gmail.com

Masuk: 1 September 2018, Revisi masuk: 10 September 2018, Diterima: 14 September 2018

### ABSTRACT

*Carbon dots (C-dots) are a new type of phosphorescent nanoparticles that can be easily synthesized from natural sources or raw materials. The outer shell of cassava is the second waste obtained from cassava skin waste which is less attention to be utilized. Synthesis of C-dots from the outer shell of dried cassava has been successfully carried out with Microwave techniques. Synthesis of C-dots was carried out using water as a solvent with a variation of the concentration of precursor solutions to the microwave duration. Microwave duration causes changes in the structure and optical properties of C-dots. C-dots are characterized to study the optical properties of the UV-Vis absorbance spectrum and emission intensity in the form of emissions. The observed optical properties aim to determine the C-dots energy transition, such as surface and core energy. The core energy level becomes dominant in the transition  $\pi \rightarrow \pi^*$  compared to the transition of  $n \rightarrow \pi^*$  in surface energy when the C-dots concentration increases so that energy shifts. This phenomenon is known from the top of the broad C-dots emission spectrum and shifts to longer wavelengths. In addition, we suspect that the difference in C-dots emissions is caused by the molecular density and content of the preparation based on the concentration of precursor solutions and the length of microwave time.*

**Keywords:** C-dots, cassava outer skin, energy shift, microwave duration, precursor solution concentration.

### INTISARI

*Carbon dots (C-dots) adalah tipe baru dari nanopartikel berpendar yang dapat mudah disintesis dari sumber atau bahan baku alami. Kulit luar singkong merupakan limbah kedua yang diperoleh dari limbah kulit singkong yang kurang perhatian untuk dimanfaatkan. Sintesis C-dots dari kulit luar singkong kering telah berhasil dilakukan dengan teknik Microwave. Sintesis C-dots dilakukan menggunakan air sebagai pelarut dengan variasi konsentrasi larutan prekursor terhadap lama waktu microwave. Lama waktu microwave menyebabkan perubahan struktur dan sifat optik dari C-dots. C-dots dikarakterisasi untuk mempelajari sifat optik dari spektrum absorbansi UV-Vis dan intensitas pendaran berupa emisi. Sifat optik yang diamati bertujuan untuk mengetahui transisi energi C-dots, seperti energi permukaan dan inti. Tingkat energi inti menjadi dominan pada transisi  $\pi \rightarrow \pi^*$  dibandingkan transisi  $n \rightarrow \pi^*$  pada energi permukaan ketika konsentrasi C-dots meningkat sehingga mengalami pergeseran energi. Fenomena itu diketahui dari puncak spektrum emisi C-dots yang luas dan bergeser ke panjang gelombang yang lebih panjang. Selain itu, kami menduga bahwa perbedaan emisi C-dots disebabkan oleh kerapatan molekul dan kandungan penyusunannya berdasarkan konsentrasi larutan prekursor dan lama waktu microwave.*

**Kata-kata kunci:** C-dots, konsentrasi larutan prekursor, kulit luar singkong, lama waktu microwave, pergeseran energi.

## PENDAHULUAN

*Carbon dots* (C-dots) telah muncul baru-baru ini sebagai salah satu penemuan yang paling menarik dalam pencarian nanomaterial baru (Yu, dkk., 2017), (Algarra, dkk., 2014). C-dots ditemukan sejak tahun 2004 secara tidak disengaja sebagai salah satu zat yang dihasilkan dari proses purifikasi atau pemurnian jenis nanomaterial *single-walled carbon nanotubes* (SWNT) (Xu, dkk., 2004), (Pires, dkk., 2015). C-dots adalah alternatif terbaru dari nanomaterial yang telah ditemukan dan menggambarkan beberapa kelebihan dibanding nanopartikel lain (Ngu, dkk., 2016). C-dots adalah nanopartikel yang memancarkan cahaya atau berpendar, tidak beracun dibandingkan alternatifnya yang serupa seperti quantum dots (Algarra, dkk., 2014).

Karakteristik C-dots tidak seperti nanodiamonds (Ding, dkk., 2014), C-dots merupakan material yang termasuk ke dalam kelas nanopartikel 0 dimensi yang bersifat fotoluminesensi (Sugiarti & Darmawan, 2015) dengan ukuran di bawah 10 nm memiliki kerangka atom karbon  $sp^2$  hibridisasi dengan residu oksigen yang berlimpah (Fang, dkk., 2012) dan permukaannya dilapisi dengan gugus oksigen, polimer, atau spesies lainnya (Strauss, dkk., 2014), (Bao, dkk., 2015), (Unnikrishnan, dkk., 2016) (Smagulova, dkk., 2017). Selain itu, C-dots berbentuk bulat dan terdiri dari inti karbon amorf (Vassilakopoulou, dkk., 2016). C-dots menunjukkan karakteristik pendaran biru atau hijau di bawah sinar UV radiasi (Baruah, dkk., 2014).

Perkembangan dalam pembuatan C-dots menggunakan bahan alami yang memiliki ikatan rantai karbon (Baker & Baker, 2010) menjadi tantangan (Ma, dkk., 2017) dan kemajuan yang sangat pesat (Ngu, dkk., 2016). Namun, sifat optik C-dots dari sumber daya alam atau bahan kimia memiliki kemurnian yang sebanding (Isnaeni & Rahmawati, 201). C-dots memiliki beberapa sifat unik, yaitu biokompabilitas (Himaja, dkk., 2014) (Mao, dkk., 2016), (Cheng, dkk., 2017), (Cui, dkk., 2018), hidrofilik (Yazid, dkk., 2013), mudah larut dalam air (Goryacheva, dkk., 2017), tidak beracun (Esteves

da Silva & Gonçalves, 2011), penyerapan seluler (Zhou, dkk., 2013), toksisitas rendah (Yazid, dkk., 2013) (Ng, 2014), fluoresensi (Himaja, dkk., 2014), dan fotoluminisensi yang unik (Bourlinos, dkk., 2012) (Kopela, dkk., 2014).

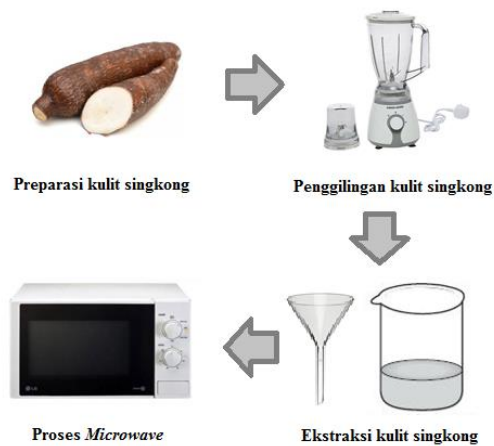
Berbagai metode yang digunakan dalam sintesis C-dots diklasifikasikan ke dalam dua cara, yaitu metode *top-down* dan *bottom-up*. Sintesis nanopartikel dengan cara memecah partikel berukuran besar menjadi partikel berukuran nanometer disebut metode *top-down*. Metode *top-down* diantaranya terdiri dari metode *arc discharge*, *laser ablation*, *electrochemical oxidation*, *chemical oxidation*, dan *ultrasonic synthesis*. Metode *bottom-up* menggunakan atom-atom atau molekul-molekul yang membentuk partikel berukuran nanometer yang dikehendaki, seperti *Microwave synthesis*, *thermal decomposition*, *hydrothermal treatment*, *templated routes*, dan *plasma treatment* (Baker & Baker, 2010) (Goryacheva, dkk., 2017) (Liu, dkk., 2014) (Hu, dkk., 2017) (Wang, dkk., 2017).

Teknik microwave adalah sebuah pendekatan *bottom-up* untuk mensintesis C-dots secara sederhana dengan beberapa kelebihan, seperti prosesnya lebih cepat, kondisinya lebih ringan dan menggunakan energi yang rendah sehingga teknik microwave menghindari sintesis multi-step (Arcudi, dkk., 2016). Teknik microwave dipilih karena teknik yang sederhana untuk menghasilkan C-dots. Beberapa penelitian sebelumnya telah banyak menunjukkan bahwa teknik microwave mudah untuk mensintesis C-dots dengan berbagai sumber, seperti daun teh dan daun pepaya (Al Ghifari & Putra, 2017), daun sawi, kentang, biji jagung, kulit dan tongkol jagung (Fatimah, dkk., 2017), daun mangga (Qurrata, dkk., 2018), jahe dan laos (Isnaeni & Rahmawati, 2018). Namun, belum ada yang menggunakan sumber kulit luar singkong (KLS) karena dianggap limbah kedua dari limbah kulit singkong yang belum dimanfaatkan dengan baik. Hal tersebut menjadi sesuatu yang baru dan menarik untuk diamati dalam perkembangan sintesis C-dots. Sifat optik C-dots KLS, seperti

spektrum absorbansi dan intensitas pendaran diamati untuk mengetahui karakteristik pergeseran energinya.

### METODE PENELITIAN

Bahan dasar yang digunakan untuk sintesis adalah C-dots, yaitu KLS yang diperoleh dari pasar lokal Lembang, Ciledug, Tangerang Kota, Indonesia. Air digunakan sebagai pelarut non-kimia dalam metode *green synthesis*. Prosedur *green synthesis* dilakukan melalui beberapa tahapan seperti pada Gambar 1. *Microwave* diatur dengan variasi waktu terhadap berat bahan baku C-dots untuk mengetahui pengaruh waktu dan berat bahan baku C-dots terhadap sifat optik C-dots yang diperoleh.



Gambar 1 . Skema prosedur sintesis C-dots dengan teknik *microwave*

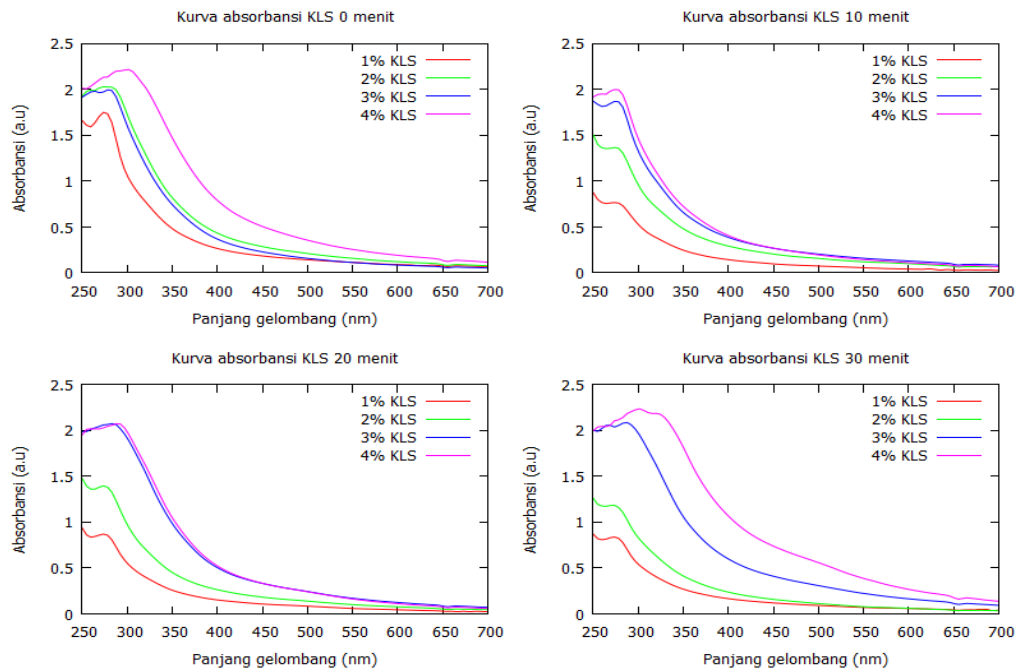
KLS dicuci menggunakan air hingga air bilasan terakhir tidak keruh. KLS dimasukan ke dalam *oven* pada suhu 120°C selama 12 jam hingga sampel kering. KLS yang sudah kering digiling menggunakan *blender* hingga halus dan disaring menggunakan *sieve 40 mesh* sehingga dihasilkan ukuran KLS kurang  $\leq 425 \mu\text{m}$ . Ekstraksi KLS dilakukan dengan variasi konsentrasi KLS dalam air dari 1%, 2%, 3%, dan 4% dalam 50 ml air dan disaring menggunakan kertas saring sehingga dihasilkan larutan KLS

yang disebut larutan prekursor. 50 mL larutan prekursor dimasukkan ke dalam *microwave* dengan variasi waktu dari 10, 20, dan 30 menit. Tambahkan air sampai tanda tera 50 ml (volume awal) dan didiaduk menggunakan *magnetic stirrer*  $\pm 15$  menit sampai larutan homogen. Sampel disaring kembali menggunakan kertas saring sehingga koloid C-dots diperoleh. Koloid C-dots dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dan *photoluminescence* (PL). Pengukuran absorbansi menggunakan lampu *deuterium* dan halogen sebagai sumber cahaya dan MAYARAPRO2000 *Ocean Optics* sebagai Spektrofotometer. Pengukuran PL menggunakan *picosecond diode laser* pada panjang gelombang 420 nm sebagai sumber eksitasi.

### PEMBAHASAN

Fenomena yang penting saat C-dots berinteraksi dengan cahaya adalah energi absorbansi. Besarnya energi yang diserap bergantung pada frekuensi cahaya yang diterima. Besar energi yang diserap untuk setiap frekuensi disebut spektrum absorbansi. Spektrum ini menggambarkan karakteristik respons optik material atau sifat optiknya (Idrus, dkk., 2018).

C-dots yang diperoleh dari teknik *microwave* menghasilkan perbedaan warna fisik dari setiap konsentrasi larutan prekursor pada variasi waktu *microwave*. C-dots selanjutnya dikarakterisasi sifat optiknya, seperti spektrum absorbansi berupa eksitasi (serapan) menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan PL berupa spektrum emisi (intensitas pendaran) menggunakan spektrofotometer PL. Sifat optik dilakukan untuk mengetahui puncak (*peak*) spektrum absorbansi dan intensitas pendaran yang mengindikasikan pergeseran energi C-dots. Spektrum absorbansi dan intensitas pendaran C-dots secara berturut-turut dapat dilihat pada Gambar 2. dan Gambar 3.



Gambar 2. Spektrum absorbansi C-dots pada variasi konsentrasi larutan prekursor terhadap lama waktu *microwave*

Spektrum absorbansi C-dots menunjukkan perbedaan nilai absorbansi yang dipengaruhi oleh variasi konsentrasi larutan prekursor (KLP) C-dots terhadap lama waktu *microwave* (LWM) yang dapat dilihat pada Gambar 2. pada panjang gelombang 250-350 nm. LWM dari 10-30 menit menunjukkan puncak absorbansi yang dipengaruhi oleh KLP secara berurutan dari puncak yang rendah ke tinggi, yaitu dari 1-4%. Namun, pada LWM 0 menit menunjukkan perbedaan puncak absorbansi secara berurutan dari puncak yang rendah ke tinggi, yaitu 1, 3, 2, dan 4%. Hal ini menunjukkan puncak absorbansi cenderung meningkat seiring meningkatnya LWM (Isnaeni & Rahmawati, 2018).

C-dots dapat menyerap secara efektif pada beberapa panjang gelombang karakteristik tertentu, dan dapat menyerap elektron dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi. Di sisi lain, sebagian energi dilepaskan dalam bentuk foton saat transisi dari keadaan tereksitasi terendah ke keadaan dasar (You, dkk., 2016) (Ke, dkk., 2017). Transisi elektronik seperti itu melibatkan ikatan ( $\sigma$  dan  $\pi$ ), anti ikatan ( $\sigma^*$  dan  $\pi^*$ ) dan orbital non-ikatan ( $n$ ), di mana  $\sigma \rightarrow \sigma$

,  $\pi \rightarrow \pi^*$ ,  $n \rightarrow \sigma^*$  dan  $n \rightarrow \pi^*$  transisi umumnya terjadi. Di antara hal tersebut,  $\pi \rightarrow \pi^*$  dan  $n \rightarrow \pi^*$  transisi adalah perhatian khusus karena energi transisi mereka sesuai dengan panjang gelombang cahaya tampak, yaitu sesuai dengan intensitas pendaran dikisaran spektrum yang terlihat. Pada kenyataannya, semua transisi tersebut berhubungan satu sama lainnya untuk menghasilkan *ground excited* ( $S_{00}$ ), *first excited* ( $S_{11}$ ), *second excited* ( $S_{22}$ ) states dan sebagainya (Kwon, dkk., 2015).

Puncak spektrum absorbansi selama 0 menit proses *microwave* dari konsentrasi 1%-4% secara berturut-turut terdapat pada panjang gelombang 275, 275, 285 dan 292 nm. Pada 10 menit proses *microwave* secara berturut-turut, yaitu 271, 276, 278 dan 276 nm. Pada 20 menit proses *microwave* secara berturut-turut, yaitu 275, 275, 285 dan 292 nm. Sedangkan, pada 30 menit proses *microwave* secara berturut-turut, yaitu 274, 273, 278 dan 300 nm. Puncak spektrum absorbansi pada panjang gelombang 271-291 nm menunjukkan transisi elektron  $\pi-\pi^*$  dari inti (*core*) C-dots. Sedangkan, puncak spektrum absorbansi pada panjang gelombang 300

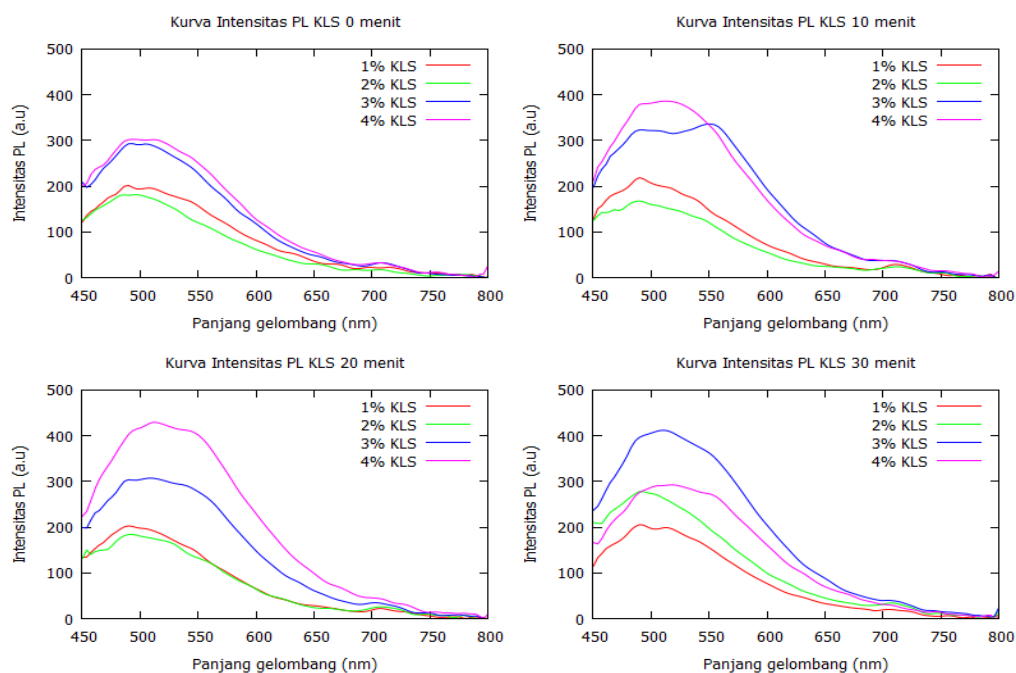
nm menunjukkan transisi elektron  $n-\pi^*$  dari permukaan (*surface state*) C-dots (Baruah, dkk., 2014) (Tarasenska, dkk., 2017) (Isnaeni, dkk., 2018) (Han, dkk., 2017). Pergeseran transisi elektron  $\pi-\pi^*$  dari inti (*core*) C-dots lebih dominan dibandingkan transisi elektron  $n-\pi^*$  dari permukaan (*surface state*) C-dots.

Pendaran terjadi karena adanya pembangkitan elektron yang mendapatkan energi dari sinar UV pada panjang gelombang 420 nm yang digunakan. Energi ini akan menyebabkan teradinya fenomena eksitasi dan deeksitasi berupa loncatan elektron dari pita valensi ke pita konduksi pada keadaan tertentu elektron selanjutnya akan kembali mengisi kekosongan yang semula ditinggalkan, hal inilah yang selanjutnya menyebabkan pelepasan energi berupa emisi gelombang elektromagnetik (Qurrata, dkk., 2018).

Spektrum intensitas pendaran C-dots menunjukkan perbedaan pada variasi konsentrasi larutan prekursor (KLP) C-dots terhadap lama waktu *microwave* (LWM) yang dapat dilihat pada Gambar 3. Puncak spektrum intensitas pendaran selama 0 menit proses *microwave* dari konsentrasi 1% - 4% secara berturut-turut

terdapat pada panjang gelombang 490, 483, 489 dan 486 nm. Pada 10 menit proses *microwave* secara berturut-turut, yaitu 490, 482, 483 dan 509 nm. Pada 20 menit proses *microwave* secara berturut-turut, yaitu 495, 492, 519 dan 508 nm. Sedangkan, pada 30 menit proses *microwave* secara berturut-turut, yaitu 493, 490, 516 dan 527 nm. Puncak spektrum intensitas pendaran C-dots cenderung meningkat pada setiap KLP yang dipengaruhi oleh LWM (Isnaeni, I Rahmawati, 2018). Pergeseran puncak intensitas pendaran yang diamati disertai dengan perubahan intensitas pendaran menunjukkan pergeseran Stokes. Sifat emisi yang tergantung pada eksitasi dianggap sebagai karakteristik C-dots sebagai bahan berpendar (Bandi, dkk., 2018).

Mekanisme spektrum intensitas pendaran C-dots dapat dikaitkan dengan dua hal, yaitu (i) keadaan emisi melalui transisi celah energi, di mana transisi  $\pi-\pi^*$  dan  $n-\pi^*$  yang bergantung pada ukuran partikel dan (ii) keadaan emisi melalui tingkat energi yang dikaitkan dengan keadaan permukaan dalam celah energi (Yoshinaga, dkk., 2018). Namun



Gambar 3. Spektrum intensitas pendaran C-dots pada variasi konsentrasi larutan prekursor terhadap lama waktu *microwave*

pergeseran puncak intensitas pendaran ini menunjukkan transisi keadaan inti di mana intensitas pendaran cenderung meningkat meningkat dan bergeser ke panjang gelombang yang lebih panjang (pergeseran ke daerah panjang gelombang merah) (Mozdbar, dkk., 2018) (Bhaisare, dkk., 2015). Namun, intensitas pendaran C-dots sangat sensitif pada pasivasi permukaan sehingga hal ini menunjukkan pergeseran puncak intensitas pendaran dipengaruhi oleh permukaan C-dots (Aloukos, dkk., 2014). Karakteristik tersebut dikaitkan dengan distribusi ukuran partikel yang tidak homogen sehingga menghasilkan keadaan *quantum confinement* yang berbeda (Castro, dkk., 2017)

#### KESIMPULAN

Kestabilan C-dots yang dibuat dari KLS dapat ditandai dengan nilai pergeseran Stokes antara keadaan eksitasi (intensitas pendaran) dan emisi (absorbansi). Karakteristik tersebut dikaitkan dengan distribusi ukuran partikel yang tidak homogen sehingga menghasilkan keadaan *quantum confinement* yang berbeda. Tingkat energi permukaan menjadi dominan pada transisi  $\pi \rightarrow \pi^*$  ketika konsentrasi C-dots meningkat sehingga mengalami pergeseran energi, diketahui dari puncak emisi C-dots yang luas dan bergeser ke panjang gelombang yang lebih panjang. Selain itu, kami menduga bahwa perbedaan emisi C-dots disebabkan oleh kerapatan molekul dan kandungan penyusunannya.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada kelompok penelitian laser di Pusat Penelitian Fisika (P2F) Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian di laboratorium laser P2F-LIPI.

#### DAFTAR PUSTAKA

Algarra, M., Campos, B. B., Radotić, K., Mutavdžić, D., Bandosz, T., Jiménez-Jiménez, J., ... Esteves da Silva, J. C. G. (2014). Luminescent Carbon Nanoparticles: Effects of Chemical Functionalization, and Evaluation of Ag<sup>+</sup> Sensing Properties. *Journal of*

*Materials Chemistry A*, 2(22), 8342. <https://doi.org/10.1039/c4ta00264d>.

Aloukos, P., Papagiannouli, I., Bourlinos, A. B., Zboril, R., & Couris, S. (2014). Third-order nonlinear optical response and optical limiting of colloidal carbon dots. *Optics Express*, 22(10), 12013. <https://doi.org/10.1364/OE.22.012013>

Arcudi, F., Dordevic, L., & Prato, M. (2016). Synthesis, separation, and characterization of small and highly fluorescent nitrogen-doped carbon nanodots. *Angewandte Chemie-International Edition*, 55(6), 2107-2112. <https://doi.org/10.1002/anie.201510158>.

Baker, S. N., & Baker, G. A. (2010). Luminescent Carbon Nanodots: Emergent Nanolights. *Angewandte Chemie-International Edition*, 49(38), 6726-6744. <https://doi.org/10.1002/anie.200906623>.

Bandi, R., Dadigala, R., Gangapuram, B. R., & Guttena, V. (2018). Green Synthesis of Highly Fluorescent Nitrogen-Doped Carbon Dots from Lantana camara Berries for Effective Detection of Lead(II) and Bioimaging. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 178, 330-338. <https://doi.org/10.1016/j.jphoto.2017.11.010>.

Bao, L., Liu, C., Zhang, Z. L., & Pang, D. W. (2015). Photoluminescence-Tunable Carbon Nanodots: Surface-State Energy-Gap Tuning. *Advanced Materials*, 27(10), 1663-1667. <https://doi.org/10.1002/adma.201405070>.

Baruah, U., Gogoi, N., Konwar, A., Jyoti Deka, M., Chowdhury, D., & Majumdar, G. (2014). Carbon Dot Based Sensing of Dopamine and Ascorbic Acid. *Journal of Nanoparticles*, 2014, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2014/178518>.

Bhaisare, M. L., Talib, A., Khan, M. S., Pandey, S., & Wu, H. F. (2015). Synthesis of Fluorescent Carbon Dots via Microwave Carbonization of Citric Acid in Presence of Tetraoctylammonium Ion, and their Application to Cellular Bioimaging. *Microchimica Acta*, 182(13-14), 2173-2181. <https://doi.org/10.1007/s00604-015-1541-5>.

- Bourlinos, A. B., Zbořil, R., Petr, J., Bakandritsos, A., Krysmann, M., & Giannelis, E. P. (2012). Luminescent Surface Quaternized Carbon Dots. *Chemistry of Materials*, 24(1), 6-8. <https://doi.org/10.1021/cm2026637>.
- Castro, H. E. P. S., Pereira, M. A. K. P., Ferreira, V. C., Ickmann, J. A. M. H., & Correia, R. I. R. B. C. (2017). Optical characterization of carbon quantum dots in colloidal suspensions. *Optical Materials Express*, 7(2), 5801-5806.
- Cheng, C., Shi, Y., Li, M., Xing, M., & Wu, Q. (2017). Carbon Quantum Dots from Carbonized Walnut Shells: Structural Evolution, Fluorescence Characteristics, and Intracellular Bioimaging. *Materials Science and Engineering C*, 79, 473-480. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.05.094>.
- Cui, B., Yan, L., Gu, H., Yang, Y., Liu, X., Ma, C. Q., ... Jia, H. (2018). Fluorescent Carbon Quantum Dots Synthesized by Chemical Vapor Deposition: An alternative Candidate for Electron Acceptor in Polymer Solar Cells. *Optical Materials*, 75, 166-173. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2017.10.010>.
- Ding, C., Zhu, A., & Tian, Y. (2014). Functional Surface Engineering of C-dots for Fluorescent Biosensing and in Vivo Bioimaging. *Accounts of Chemical Research*, 47(1), 20-30. <https://doi.org/10.1021/ar400023s>.
- Dior Al Ghifari, A., & Pratama Putra, W. (2017). Analisis Fotoluminesensi Karbon Dot Dari Daun Teh dan Daun Pepaya dengan Teknik Microwave. *Seminar Nasional Fisika*, VI, 19-26.
- Esteves da Silva, J. C. G., & Gonçalves, H. M. R. (2011). Analytical and Bioanalytical Applications of Carbon Dots. *TrAC-Trends in Analytical Chemistry*, 30(8), 1327-1336. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2011.04.009>.
- Fang, Y., Guo, S., Li, D., Zhu, C., Ren, W., Dong, S., & Wang, E. (2012). Easy Synthesis and Imaging Applications of Cross-linked Green Fluorescent Hollow Carbon Nanoparticles. *ACS Nano*, 6(1), 400-409. <https://doi.org/10.1021/nn2046373>.
- Fatimah, S., Tahir, D., Selatan, S., Fisika, P. P., Ilmu, L., Indonesia, P., & Selatan, T. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Fotoluminisens Carbon Dots Berbahan Dasar Organik dan Limbah Organik, VII(2), 37-41.
- Goryacheva, I. Y., Sapelkin, A. V., & Sukhorukov, G. B. (2017). Carbon Nanodots: Mechanisms of Photoluminescence and Principles of Application. *TrAC-Trends in Analytical Chemistry*, 90, 27-37. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.02.012>.
- Han, S., Chang, T., Zhao, H., Du, H., Liu, S., Wu, B., & Qin, S. (2017). Cultivating Fluorescent Flowers with Highly Luminescent Carbon Dots Fabricated by a Double Passivation Method. *Nanomaterials*, 7(7), 176. <https://doi.org/10.3390/nano7070176>.
- Himaja, A. L., Karthik, P. S., Sreedhar, B., & Singh, S. P. (2014). Synthesis of Carbon Dots from Kitchen Waste: Conversion of Waste to Value Added Product. *Journal of Fluorescence*, 24(6), 1767-1773. <https://doi.org/10.1007/s10895-014-1465-1>.
- Hu, Q., Gong, X., Liu, L., & Choi, M. M. F. (2017). Characterization and Analytical Separation of Fluorescent Carbon Nanodots. *Journal of Nanomaterials*, 2017, 30-37. <https://doi.org/10.1155/2017/1804178>.
- Idrus, R., Lapanporo, B. P., & Putr, Y. S. (2018). Studi Teoritik Respons Optik Two-Level System Semiconductor Quantum Dots. *PRISMA FISIKA*, VI(2), 82-88.
- Isnaeni, I Rahmawati, R. I. and M. Z. (2018). Photoluminescence Study of Carbon Dots from Ginger and Galangal Herbs using Microwave Technique. *Journal of Physics: Conference Series*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/985/1/012004>.
- Isnaeni, Herbani, Y., & Suliyanti, M. M. (2018). Concentration effect on optical properties of carbon dots at room temperature. *Journal of Luminescence*, 198, 215-219. <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2018.02.012>.
- Ke, J., Li, X., Zhao, Q., Liu, B., Liu, S., & Wang, S. (2017). Upconversion carbon quantum dots as visible light responsive component for efficient

- enhancement of photocatalytic performance. *Journal of Colloid and Interface Science*, 496, 425-433. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.01.121>.
- Kwon, W., Do, S., Kim, J. H., Jeong, M. S., & Rhee, S. W. (2015). Control of Photoluminescence of Carbon Nanodots via Surface Functionalization using Para-substituted Anilines. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/srep12604>
- Liu, Y., Zhao, Y., & Zhang, Y. (2014). One-Step Green Synthesized Fluorescent Carbon Nanodots from Bamboo Leaves for Copper(II) Ion Detection. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 196, 647-652. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.02.053>.
- Ma, X., Dong, Y., Sun, H., & Chen, N. (2017). Highly Fluorescent Carbon Dots from Peanut Shells as Potential Probes for Copper Ion: The Optimization and Analysis of the Synthetic Process. *Materials Today Chemistry*, 5, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2017.04.004>.
- Mao, Q. X., Han, L., Shu, Y., Chen, X. W., & Wang, J. H. (2016). Improving the Biocompatibility of Carbon Nanodots for Cell Imaging. *Talanta*, 161, 54-61. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.08.031>.
- Mohd Yazid, S. N. A., Chin, S. F., Pang, S. C., & Ng, S. M. (2013). Detection of Sn(II) Ions via Quenching of the Fluorescence of Carbon Nanodots. *Microchimica Acta*, 180(1-2), 137-143. <https://doi.org/10.1007/s00604-012-0908-0>.
- Mozdbar, A., Nouralishahi, A., Fatemi, S., & Mirakhori, G. (2018). The Effect of Precursor on the Optical Properties of Carbon Quantum Dots Synthesized by Hydrothermal/Solvothermal Method. *AIP Conference Proceedings*, 1920. <https://doi.org/10.1063/1.5018961>.
- Ng, S. M. (2014). Sustainable Alternative in Environmental Monitoring using Carbon Nanoparticles as Optical Probes. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 3, 36-42. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2014.08.001>.
- Ngu, P. Z. Z., Chia, S. P. P., Fong, J. F. Y., & Ng, S. M. (2016). Synthesis of Carbon Nanoparticles from Waste Rice Husk Used for the Optical Sensing of Metal Ions. *Xinxing Tan Cailiao/New Carbon Materials*, 31(2), 135-143. [https://doi.org/10.1016/S1872-5805\(16\)60008-2](https://doi.org/10.1016/S1872-5805(16)60008-2).
- Pires, N. R., Santos, C. M. W., Sousa, R. R., de Paula, R. C. M., Cunha, P. L. R., & Feitosa, J. P. A. (2015). Novel and Fast Microwave-Assisted Synthesis of Carbon Quantum Dots from Raw Cashew Gum. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 26(6), 1274-1282. <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20150094>.
- Qurrata, A., Tahir, D., Ramlan, N. M., & Putri, R. H. (2018). Perbandingan Sifat Optik Karbon Dots (C-Dots) dari Daun Mangga Kering dan Segar. *Prosiding Seminar Nasional Quantum*, 25, 626-623.
- Smagulova, S. A., Egorova, M. N., Tomskaya, A. E., Kapitonov, A. N. (2017). Synthesis of Carbon Dots with Tunable Luminescence. *Journal of Material Science & Engineering*, 06 (05), 1-6. <https://doi.org/10.4172/2169-0022.1000376>.
- Strauss, V., Margraf, J. T., Dolle, C., Butz, B., Nacken, T. J., Walter, J., ... Guldi, D. M. (2014). Carbon Nanodots: Toward a Comprehensive Understanding of their Photoluminescence. *Journal of the American Chemical Society*, 136(49), 17308-17316. <https://doi.org/10.1021/ja510183c>.
- Sugiarti, S., & Darmawan, N. (2015). Synthesis of Fluorescence Carbon Nanoparticles From Ascorbic Acid. *Indones. J. Chem*, 15(2), 141-145.
- Tarassenka, N., Stupak, A., Tarasenko, N., Chakrabarti, S., & Mariotti, D. (2017). Structure and Optical Properties of Carbon Nanoparticles Generated by Laser Treatment of Graphite in Liquids. *ChemPhysChem*, 18(9), 1074-1083. <https://doi.org/10.1002/cp.201601182>.
- Unnikrishnan, B., Wu, C. W., Chen, I. W. P., Chang, H. T., Lin, C. H., & Huang, C. C. (2016). Carbon Dot-Mediated Synthesis of Manganese Oxide Decorated Graphene Nanosheets for Supercapacitor Application. *ACS Sus-*



- tainable Chemistry and Engineering*, 4(6), 3008-3016. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5b01700>.
- Vassilakopoulou, A., Georgakilas, V., Vainos, N., & Koutselas, I. (2016). Successful Entrapment of Carbon Dots within Flexible Free-Standing Transparent Mesoporous Organic-Inorganic Silica Hybrid Films for Photonic Applications Successful Entrapment of Carbon Dots within Flexible Free-Standing Transparent Mesoporous Organic-In, 1-24. Retrieved from <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1608/1608.00824.pdf>.
- Vedran Milosavljevic Pavel Kopela, et al., A. M. (2014). Microwave Preparation of Carbon Quantum Dots with Different Surface Modification. *Journal of Metallomics and Nanotechnologies*, 3, 16-22.
- Wang, R., Lu, K.-Q., Tang, Z.-R., & Xu, Y.-J. (2017). Recent Progress in Carbon Quantum Dots: Synthesis, Properties and Applications in Photocatalysis. *J. Mater. Chem. A*, 5(8), 3717-3734. <https://doi.org/10.1039/C6TA08660H>.
- Xu, X., Ray, R., Gu, Y., Ploehn, H. J., Gearheart, L., Raker, K., & Scrivens, W. A. (2004). Electrophoretic Analysis and Purification of Fluorescent Single-Walled Carbon Nanotube Fragments. *Journal of the American Chemical Society*, 126, 12736-12737. <https://doi.org/10.1021/ja040082h>.
- Yoshinaga, T., Iso, Y., & Isobe, T. (2018). Particulate, Structural, and Optical Properties of D-Glucose-Derived Carbon Dots Synthesized by Microwave-Assisted Hydrothermal Treatment. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 7(1), R3034-R3039. <https://doi.org/10.1149/2.0091801jss>.
- You, Y., Zhang, H., Liu, Y., & Lei, B. (2016). Transparent sunlight conversion film based on carboxymethyl cellulose and carbon dots. *Carbohydrate Polymers*, 151, 245-250. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.05.063>.
- Yu, J., Nan, J., & Zeng, H. (2017). Size Control of Nanoparticles by Multiple-Pulse Laser Ablation. *Applied Surface Science*, 402, 330-335. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.01.094>.
- Zhou, L., Li, Z., Liu, Z., Ren, J., & Qu, X. (2013). Luminescent Carbon Dot-Gated Nanovehicles for pH-Triggered Intracellular Controlled Release and Imaging. *Langmuir*, 29(21), 6396-6403. <https://doi.org/10.1021/la400479n>.

#### BIODATA PENULIS

**Permono Adi Putro, S.Pd,**

menyelesaikan pendidikan S1 program studi Pendidikan Fisika dari Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka tahun 2018 dengan bidang minat material biophotonics dan material polymers.

**Dr. Liszulfah Roza, S.Si., M.I.S.,**

menyelesaikan pendidikan S1 program studi Fisika dari Universitas Andalas tahun 2010, S2 program studi Fisika Material dari Universiti Tenaga Nasional Malaysia tahun 2012, dan S3 program studi Fisika Material dari Universiti Kebangsaan Malaysia tahun 2017. Saat ini tercatat sebagai dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka dengan jabatan akademik Lektor dengan bidang minat fisika material, nanoelektronik, sel surya, material plasmonik.

**Dr. Isnaeni, M.Sc.,**

menyelesaikan pendidikan S1 program studi Fisika dari IPB Bogor pada tahun 2000, S2 program studi Fisika dari The University of Queensland Australia pada tahun 2006, dan S3 program studi Fisika dari Korea Advanced Institute of Science and Technology, KOREA pada tahun 2012. Saat ini bekerja di Pusat Penelitian Fisika, LIPI dengan bidang minat laser, quantum DOT, LED, nanoparticles, dan photonics.