
Sifat Optik Carbon Dots (C-Dots) dari Daun Bambu Hasil Sintesis Hijau Berbantuan Gelombang Mikro

Permono Adi Putro¹ *, Akhiruddin Maddu²

¹ Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka, Jl. Tanah Merdeka 20 Jakarta 13830, Indonesia

² Departemen Fisika, Institut Pertanian Bogor, Jl. Meranti Wing S Level 5 Bogor 16680, Indonesia

* Penulis Penanggungjawab. E-mail : permonoadi29@gmail.com

HP : +6281260633316

ABSTRAK

Carbon dots (C-dots) adalah tipe baru dari nanopartikel berpendar yang dapat mudah disintesis dari sumber alami. Sintesis C-dots dari daun bambu telah berhasil dilakukan menggunakan teknik sintesis hijau berbantuan gelombang mikro. Teknik sintesis hijau dilakukan dengan menggunakan air sebagai pelarut non-kimia dan sumber alami. Sintesis dilakukan menggunakan variasi konsentrasi prekursor untuk dipelajari pengaruhnya terhadap sifat fisik dan sifat optiknya. Sifat fisik C-dots menunjukkan warna transparan di bawah cahaya tampak, dan warna hijau di bawah laser UV 405 nm. Sifat optik C-dots dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis, dan spektrofotometer dengan sumber eksitasi 405 nm. Konsentrasi prekursor mempengaruhi intensitas eksitasi dan emisi, namun pergeseran Stokes C-dots memiliki kestabilan yang sangat baik dalam larutan berair. Pergeseran Stokes berasal dari keadaan transisi $n-\pi^*$ dari struktur ikatan aromatik C=O pada permukaan C-dots. Kami peroleh C-dots yang berpotensi untuk diaplikasikan sebagai bioimaging seluler *in vivo* dan *in vitro* dan *biosensing* ion logam dan garam.

Kata Kunci : C-dots; konsentrasi prekursor; sifat optik; sintesis hijau; gelombang mikro

ABSTRACT

Carbon dots (C-dots) are a new type of fluorescent nanoparticles that can be easily synthesized from natural resources. The synthesis of C-dots from bamboo leaves was successfully carried out using microwave assisted green synthesis techniques. Green synthesis techniques are carried out using water as a non-chemical solvent and natural sources. Synthesis is carried out using variations in the concentration of precursors to be studied for their effects on the physical and optical properties. The physical properties of C-dots show transparent colors under visible light, and green color under the UV 405 nm laser. The optical properties of C-dots were characterized using a UV-Vis spectrophotometer, and a Fluorescence spectrophotometer with an excitation source of 405 nm. Precursor concentrations affect excitation and emission intensity, but Stokes's shift to C-dots has excellent stability in aqueous solutions. Stokes' shift originated from the transition state $n-\pi^*$ from structure of aromatic bond C=O on surface of C-dots. We obtained C-dots which have the potential to be applied as cellular bioimaging in vivo and in vitro and biosensing metal ions and salts.

Keywords: C-dots; precursor concentration; optical properties; green synthesis; microwave

1. Pendahuluan

Carbon dots (C-dots) adalah kelas baru nanopartikel fluoresensi berbasis inti karbon. C-dots memiliki stabilitas yang tinggi yang tahan lama, ketahanan (resistansi) yang luar biasa terhadap cahaya (foto) dan degradasi kimia, emisi dan eksitasi fluoresensi yang tunable, high quantum yield, pergeseran *Stokes* yang besar, dapat larut dalam air karena proses sintesisnya dilakukan dalam air [1]. C-dots memiliki diameter di bawah 10 nm. C-dots yang lebih kecil dari radius Bohr dapat luminesensi ketika *quantum*

confinement effect mendominasi. Distribusi ukuran C-dots yang heterogen terkonjugasi sp^2 dalam matrik sp^3 non-konjugasi sehingga menghasilkan tingkat energi diskrit yang mengarah pada sifat optik, listrik, dan kimia yang sangat berbeda dibandingkan dengan nanopartikel lainnya [2].

C-dots dapat disintesis menggunakan dua metode yang berbeda; pendekatan *top down* dan *bottom up* biasanya terdiri dari unsur-unsur seperti karbon, hidrogen, dan oksigen. Atom-atom lain seperti nitrogen, boron, sulfur, dll. dapat dimasukkan melalui metode doping yang sesuai

sehingga mengubah sifat-sifatnya [3]. 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* [4–8].

Teknik gelombang mikro 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 gelombang mikro menghindari sintesis *multi-step* [9]. Teknik gelombang mikro dipilih karena teknik yang sederhana untuk menghasilkan C-dots. Beberapa penelitian sebelumnya telah banyak menunjukkan bahwa teknik gelombang mikro mudah untuk mensintesis C-dots dengan berbagai sumber, seperti gliserol [10], asam sitrat [11], asam askorbat [12], gula putih pasir [13], arginine [9], kulit jeruk [14], jahe dan lengkuas [15], ampas anggur, [16]. Namun, belum ada

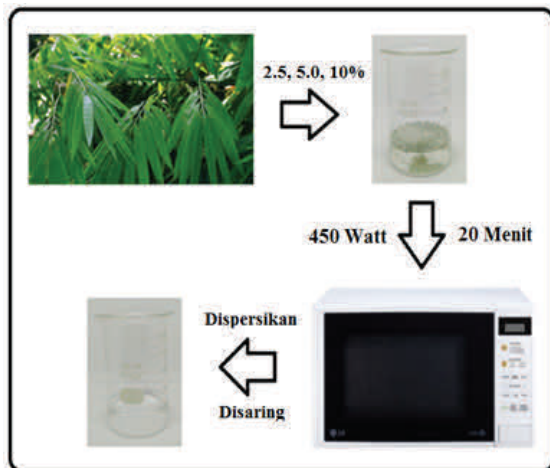
yang menggunakan daun bambu sebagai sumber karbon untuk pembuatan C-dots menggunakan teknik gelombang mikro berbasis sintesis hijau. Hal tersebut menjadi sesuatu yang baru dan menarik untuk diamati dalam perkembangan sintesis C-dots.

2. Bahan dan Metode

Sintesis C-dots dilakukan menggunakan teknik gelombang mikro berbasis sintesis hijau. Air digunakan sebagai pelarut non-kimia dalam proses sintesis hijau. Sintesis hijau dilakukan menggunakan gelombang mikro 450 watt dengan diatur variasi konsentrasi larutan prekursor C-dots untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat fisik dan optiknya. Skema sintesis hijau C-dots dapat dilihat pada Gambar 1. Sifat optik C-dots dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan spektrofluorometer dengan sumber eksitasi 405 nm. Data absorbansi dan C-dots yang diperoleh selanjutnya di-plot menggunakan *software open acces* gnuplot 4.6.

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu *blender*, *oven*, kertas saring, gelas beker, *erlenmeyer*, corong, botol reagen, dan spektrofotometer UV-Vis dan spektrofluorometer. Sedangkan, bahan yang digunakan, yaitu daun bambu dan air.



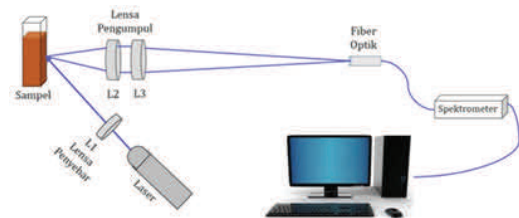
Gambar 1. Skema sintesis hijau C-dots menggunakan daun bambu

2.2 Sintesis Hijau C-dots

Daun bambu dicuci menggunakan air dan dimasukkan ke dalam oven pada temperatur 100C selama 1 jam untuk menghilangkan kadar air. Daun bambu di-blender hingga halus menjadi serbuk. Pembuatan larutan prekursor divariasikan konsentrasinya 2.5, 5.0 dan 10% dalam 20 ml air. Larutan prekursor masing-masing dimasukkan ke dalam *microwave* 450 watt selama 20 menit sehingga larutan menjadi kering. Sampel didispersikan menggunakan 20 ml air dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 200 rpm selama 20 menit. Sampel disaring menggunakan kertas saring ukuran 425 m sehingga diperoleh koloid C-dots transparan. Koloid C-dots dilakukan pengujian secara visual menggunakan laser UV 405 nm untuk mengetahui perilaku respons optiknya.

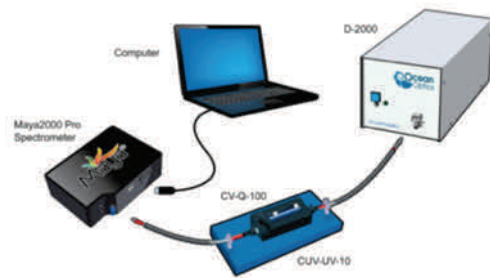
2.3 Karakterisasi C-dots

Koloid C-dots dikarakterisasi spektrum fotoluminesens (FL) menggunakan spektrofotometer merk *Ocean OpticsTM 4000* menggunakan *picosecond diode laser* pada panjang gelombang 405 nm sebagai sumber eksitasi. Pengaturan (*setup*) optik hibrida FL dapat dilihat pada Gambar 2. Sebuah laser memancarkan cahaya *Pico-second* pada panjang gelombang 405 nm yang digunakan sebagai energi yang diserap (eksitasi) C-dots. Emisi C-dots dikumpulkan (difokuskan) dan diarahkan ke detektor spektrofotometer.



Gambar 2. Pengaturan pengukuran optik [17]

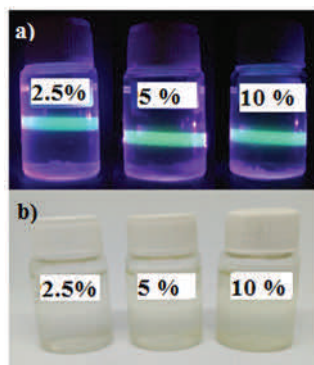
Sedangkan, karakterisasi spektrum absorbansi C-dots menggunakan spektrofotometer UV-Vis merk *Ocean OpticsTM 2000* dengan lampu Halogen sebagai sumber cahaya. Pengaturan (*setup*) optik absorbansi dapat dilihat pada **Gambar 3**. Data yang diperoleh ditampilkan pada *spectra suite software*.



Gambar 3. Pengaturan pengukuran optik absorbansi

3. Hasil dan Pembahasan

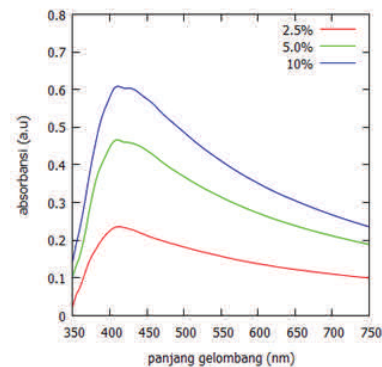
C-dots yang diperoleh dari teknik *microwave* menghasilkan sifat fisik koloid C-dots yang dapat dilihat pada **Gambar 4**. Sifat fisik C-dots di bawah cahaya tampak menunjukkan warna yang transparan, sedangkan di bawah cahaya laser UV 405 nm menunjukkan warna hijau sebagai emisi dari C-dots. Peningkatan konsentrasi C-dots tidak merubah sifat fisik C-dots secara signifikan.



Gambar 4. Sifat fisik koloid C-dots; a) disinari laser UV 405 nm; b) di bawah cahaya tampak

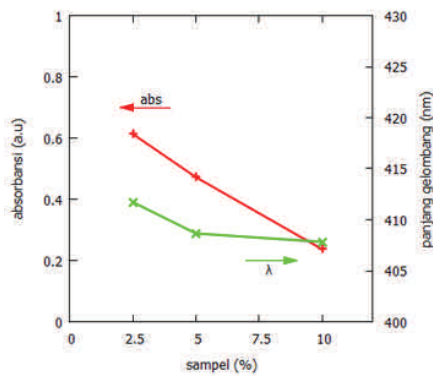
C-dots selanjutnya dikarakterisasi sifat optiknya, seperti spektrum

absorbansi dan spektrum fotoluminesens (FL) berupa spektrum emisi menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan spektrofluorometer. Sifat optik dilakukan untuk mengetahui puncak spektrum intensitas absorbansi dan fotoluminesens secara berturut-turut yang dapat dilihat pada **Gambar 5**. dan **Gambar 7**.



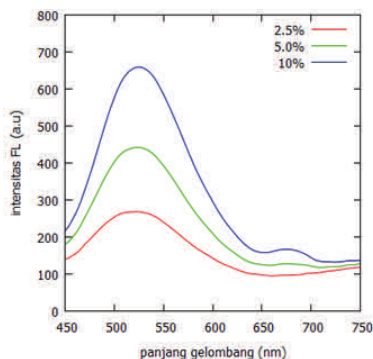
Gambar 5. Kurva absorbansi C-dots dengan variasi konsentrasi prekursor.

Nilai absorbansi C-dots sangat dipengaruhi oleh konsentrasi prekursor saat sintesis. Hubungan intensitas puncak absorbansi dan panjang gelombang pada setiap sampel C-dots dapat dilihat pada **Gambar 6**. Hal ini menunjukkan bahwa, semakin banyaknya C-dots yang terbentuk seiring meningkatnya konsentrasi prekursor. Spektrum absorbansi pada konsentrasi 2.5%, 5%, dan 10% secara berturut-turut terdapat puncak pada panjang gelombang 407.83 nm, 408.65 dan 411.71 nm menunjukkan keadaan transisi $n-\pi^*$ dari struktur ikatan aromatik C=O yang berasal dari permukaan C-dots [18–20]. Spektrum ini cenderung stabil karena pergeseran puncaknya yang kecil atau tidak signifikan [21].



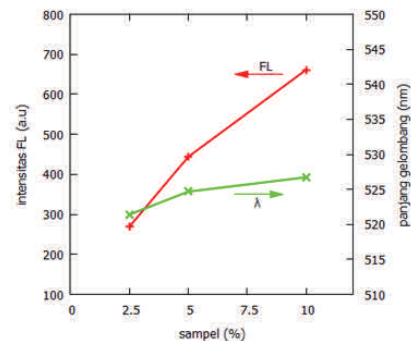
Gambar 6. Kurva hubungan puncak absorbansi dan panjang gelombang C-dots

Terjadi karena adanya pembangkitan elektron yang mendapatkan energi dari sinar UV pada panjang gelombang 405 nm yang digunakan sebagai sumber eksitasi. Energi ini akan menyebabkan terjadinya 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.



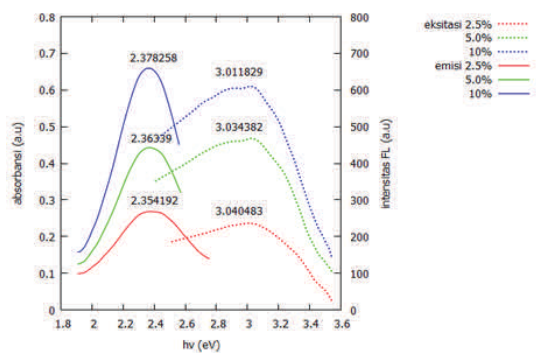
Gambar 7. Kurva C-dots dengan variasi konsentrasi prekursor

Intensitas fluoresensi C-dots sangat dipengaruhi oleh konsentrasi prekursor saat sintesis. Hal ini menunjukkan bahwa, peningkatan konsentrasi prekursor akan meningkatkan banyaknya C-dots yang terbentuk. Fluoresensi C-dots tidak disebabkan oleh transisi energi gap tetapi keadaan transisi permukaan pada energi gap [22]. Puncak FL mengalami pergeseran merah secara berturut-turut dengan meningkatnya konsentrasi prekursor dari 2.5%, 5.0% dan 10% adalah 521.39 nm, 524.67 nm dan 526.72 nm. Pergeseran merah yang diamati dalam puncak FL dianggap berasal dari gugus karboksil dan derajat oksidasi pada struktur permukaan dan bukan dari ukuran partikel, berarti sifat FL C-dots ini tidak seperti pada semikonduktor *quantum dots*. Oksidasi permukaan berfungsi sebagai pusat penangkapan eksiton sehingga menghasilkan fluoresensi yang berhubungan dengan keadaan permukaan. Tingkat oksidasi yang lebih tinggi pada permukaan C-dots menyiratkan lebih banyak cacat permukaan [23].



Gambar 8. Kurva hubungan puncak intensitas FL dan panjang gelombang C-dots

Quantum confinement effect pada C-dots dapat dianalisis melalui pergeseran energi dari keadaan eksitasi dan emisi yang dapat dilihat pada **Gambar 9**. Pergeseran energi C-dots dengan variasi konsentrasi prekursor dari 2.5%, 5.0% dan 10% secara berturut-turut adalah 0.633571 eV, 0.670992 eV dan 0.686291 eV. Pergeseran energi ini disebabkan oleh interaksi elektron-hole sehingga terjadi pemisahan antara level energi dari pita valensi dan konduksi. Pergeseran energi ini biasa dikenal dengan pergeseran Stokes.



Gambar 9. Kurva pergeseran energi dari keadaan eksitasi dan emisi C-dots dengan variasi konsentrasi prekursor

Pergeseran Stokes pada C-dots meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi prekursor, namun tidak signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa waktu relaksasi dari inti sebelum melakukan emisi sangat stabil dalam larutan berair dengan intensitas yang dapat diatur berdasarkan konsentrasi prekursor C-dots. Hasil ini memberikan potensi C-dots dari daun bambu dalam larutan berair untuk diaplikasikan sebagai bioimaging seluler in vivo dan in vitro dan biosensing ion logam dan garam.

4. Simpulan

Sintesis hijau C-dots berhasil dilakukan menggunakan daun bambu sebagai sumber karbon dan air sebagai pelarutnya. C-dots yang diperoleh memiliki fluoresensi berupa emisi yang baik tanpa pasivasi eksternal atau fungsionalisasi permukaan. Konsentrasi prekursor mempengaruhi intensitas eksitasi dan emisi, namun pergeseran Stokes pada C-dots memiliki kestabilan yang sangat baik dalam larutan berair sehingga berpotensi untuk diaplikasikan sebagai bioimaging seluler in vivo dan in vitro dan biosensing ion logam dan garam.

6. Referensi

1. Gonçalves, H., & da Silva, J. C. E. (2010). Fluorescent carbon dots capped with PEG 200 and mercaptosuccinic acid. *Journal of fluorescence*, 20(5), 1023-1028.
2. Hassan, M., Gomes, V. G., Dehghani, A., & Ardekani, S. M. (2018). Engineering carbon quantum dots for photomediated theranostics. *Nano Research*, 11(1), 1-41.
3. Jaleel, J. A., & Pramod, K. (2018). Artful and multifaceted applications of carbon dot in biomedicine. *Journal of Controlled Release*, 269, 302-321.



4. Baker, S. N., & Baker, G. A. (2010). Luminescent carbon nanodots: emergent nanolights. *Angewandte Chemie International Edition*, 49(38), 6726-6744.
5. 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.
6. 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.
7. Su, L. X., Ma, X. L., Zhao, K. K., Shen, C. L., Lou, Q., Yin, D. M., & Shan, C. X. (2018). Carbon Nanodots for Enhancing the Stress Resistance of Peanut Plants. *ACS Omega*, 3(12), 17770-17777.
8. Wang, R., Lu, K. Q., Tang, Z. R., & Xu, Y. J. (2017). Recent progress in carbon quantum dots: synthesis, properties and applications in photocatalysis. *Journal of Materials Chemistry A*, 5(8), 3717-3734.
9. Arcudi, F., Đorđević, 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.
10. Wang, X., Qu, K., Xu, B., Ren, J., & Qu, X. (2011). Microwave assisted one-step green synthesis of cell-permeable multicolor photoluminescent carbon dots without surface passivation reagents. *Journal of Materials Chemistry*, 21(8), 2445-2450.
11. Wright, P. C., Qin, H., Choi, M. M., Chiu, N. H., & Jia, Z. (2014). Carbon nanodots interference with lactate dehydrogenase assay in human monocyte THP-1 cells. *SpringerPlus*, 3(1), 615.
12. Sugiarti, S., & Darmawan, N. (2015). Synthesis of Fluorescence Carbon Nanoparticles from Ascorbic Acid. *Indonesian Journal of Chemistry*, 15(2), 141-145.
13. Herbani, Y., & Suliyanti, M. M. (2018). Concentration effect on optical properties of carbon dots at room temperature. *Journal of Luminescence*, 198, 215-219.
14. Fatimah, S., Isnaeni, I., & Tahir, D. (2018). Assisted Surface-state Recombination of Orange-peel Carbon Nanodots in Various Matrices. *Makara Journal of Science*, 29-34.
15. Rahmawati, I., Intan, R., & Zakaria, M. (2018, March). Photoluminescence study of carbon dots from ginger and galangal herbs using microwave technique. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 985, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.

16. Varisco, M., Zufferey, D., Ruggi, A., Zhang, Y., Erni, R., & Mamula, O. (2017). Synthesis of hydrophilic and hydrophobic carbon quantum dots from waste of wine fermentation. *Royal Society open science*, 4(12), 170900.
17. Fatimah, S., Isnaeni, I., & Tahir, D. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Fotoluminisens Carbon Dots Berbahan Dasar Organik dan Limbah Organik. *POSITRON*, 7(2), 37-41.
18. Li, Q., Zhou, M., Yang, M., Yang, Q., Zhang, Z., & Shi, J. (2018). Induction of long-lived room temperature phosphorescence of carbon dots by water in hydrogen-bonded matrices. *Nature communications*, 9(1), 734.
19. 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.
20. Jhonsi, M. A., & Kathiravan, A. (2017). Photoinduced interaction of arylamine dye with carbon quantum dots ensued from *Centella asiatica*. *Journal of Luminescence*, 192, 321-327.
21. Li, X., Zhang, S., Kulinich, S. A., Liu, Y., & Zeng, H. (2014). Engineering surface states of carbon dots to achieve controllable luminescence for solid-luminescent composites and sensitive Be²⁺ detection. *Scientific reports*, 4, 4976.
22. 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.
23. Ding, H., Yu, S. B., Wei, J. S., & Xiong, H. M. (2015). Full-color light-emitting carbon dots with a surface-state-controlled luminescence mechanism. *ACS nano*, 10(1), 484-491.