

Hydrothermal Synthesis of Carbon Dots Derived from Biomass: A Simple and Sustainable Approach

Shopi Turdini^{1*}, Dikdik Mulyadi¹, Lela Mukmilah Yuningsih¹

¹Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi, Sukabumi, Indonesia;

Article History

Received : July 20th, 2025

Revised : July 25th, 2025

Accepted : July 29th, 2025

*Corresponding Author: **Shopi Turdini**, Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi, Sukabumi, Indonesia;
Email: shopiturdini5001@ummi.ac.id

Abstract: Carbon dots (CDs) are a class of carbon-based nanomaterials that have attracted significant attention in the field of nanotechnology due to their strong photoluminescence, biocompatibility, and ease of surface passivation. In recent years, biomass-derived approaches for CDs synthesis have become a primary focus, driven by the growing demand for environmentally friendly, cost-effective, and sustainable synthetic methods. This study aims to synthesize carbon dots (CDs) from molasses, a sugar-based biomass waste, using a simple hydrothermal method. Characterization results revealed that the synthesized CDs have an average particle size of 313.5 nm and retain surface functional groups such as –OH, –COOH, C=O, and C–H, which are essential for extended applications. The findings demonstrate that molasses can serve as a viable carbon source that not only supports the concept of green synthesis but also opens new opportunities for biomass-based CDs in sustainable applications, including environmental remediation, adsorbents, or macro-scale drug delivery systems suitable for mucosal or gastrointestinal routes. Moreover, this work contributes to the advancement of eco-friendly carbon-based materials.

Keywords: Biomassa, Carbon dots, Hydrothermal.

Pendahuluan

Perkembangan era modern yang mengedepankan kesadaran terhadap isu lingkungan dan berkelanjutan, pemanfaatan kimia material yang ramah lingkungan menjadi fokus utama dalam penelitian berbasis *green synthesis*. Karbon nano, khususnya *carbon dots*, salah satu bidang yang telah maju dalam sepuluh tahun terakhir. *Carbon dots* (CDs) secara luas sering dianggap sebagai kelompok nanopartikel karbon dalam suspensi berair atau suspensi lainnya (Mau *et al.*, 2021). Beberapa literatur, *carbon dots* disebut juga sebagai kuantum *Carbon dots* (CDQs), *carbon nanodots* (CNDs), grafena kuantum dots (GDQs), dan karbon nanokristal (Chan *et al.*, 2021; Sari *et al.*, 2025). *Carbon dots* (CDs) pertama kali ditemukan oleh Xu dan timnya pada tahun 2004 tanpa sengaja selama pemurnian nanotube karbon ber dinding tunggal (*multi wall carbon nanotube*).

Biasanya berdiameter kurang dari 10 nm, *carbon dots* merupakan kelas baru nanopartikel karbon kuasi-sferis (sp²/sp³) berdimensi nol dengan karakteristik fluoresensi khusus. *Carbon dots* dibedakan oleh sifat fotostabilnya, toksisitas rendah, kelarutan air yang lebih baik, dan biokompatibilitas kemampuan untuk berinteraksi dengan makhluk hidup. *Carbon dots* juga menunjukkan potensi sebagai kelas probe fluoresen. *Carbon dots* menarik di berbagai industri karena manfaat tambahannya, termasuk kompatibilitas tinggi dan stabilitas kimia.

Pendekatan berbasis biomassa bottom-up semakin populer di antara berbagai metode sintesis yang tersedia karena menggunakan limbah sebagai sumber karbon dan mendorong gagasan sintesis hijau serta ekonomi sirkular. Salah satu strategi yang paling layak adalah menggunakan limbah organik dan biomassa alami, seperti molase, ampas tebu, dan kulit buah. Hal ini karena biomassa ini mudah terurai secara termal menjadi struktur karbon aromatik,

yang berfungsi sebagai dasar sintesis CD, dan tinggi karbon, nitrogen, dan oksigen (Lin *et al.*, 2021). Komposisi kompleksnya yang terdiri dari gula pereduksi, senyawa fenolik, dan asam organik, molase produk sampingan dari industri tebu memiliki banyak potensi sebagai sumber gugus fungsi dan prekursor karbon potensial.

Metode hidrotermal sederhana menjadi pilihan teknik sintesis yang efisien dan ramah lingkungan. Teknik ini tidak memerlukan katalis berbahaya maupun perlakuan fisika intensif, serta dapat dilakukan pada suhu relatif rendah (100–200 °C) menjadikannya cocok untuk skala laboratorium maupun produksi skala kecil (Zhu *et al.*, 2013). Lebih jauh lagi, pendekatan hidrotermal memungkinkan produksi gugus fungsi tertentu yang memengaruhi kelarutan material dalam air dan fotoluminesensi, yang keduanya penting untuk aplikasi di berbagai domain, termasuk pemberian obat, biosensor, dan lingkungan.

Mengacu pada permasalahan, percobaan ini bertujuan untuk melakukan sintesis *carbon dots* dari molase menggunakan metode hidrotermal sederhana dan mengevaluasi ukuran partikel sebagai salah satu parameter yang dapat memengaruhi aplikasi material ini dimasa depan. Diharapkan penelitian ini akan memberikan kontribusi terhadap pengembangan material karbon berbasis biomassa.

Bahan dan Metode

Waktu dan tempat penelitian

Penelitian berlangsung dari bulan Februari sampai Maret 2025, bertempat di Depok. Sampel penelitian berasal dari molase yang diambil secara acak dari toko e-commerce. Jenis penelitian ini adalah kualitatif dan kuantitatif.

Alat dan bahan

Gelas beaker 500 mL, gelas ukur 500 mL, batang pengaduk, *magnetic stirrer*, *autoclave*, corong, sonikasi, *syringe* ukuran 0,45 µL, neraca analitik, instrumen FTIR merek Agilent Carry 630 FTIR Spectrometer, instrumen Spektrofotometer UV-Vis, instrumen *particle size analysis* (PSA), seperangkat komputer, pipet tetes, lampu UV 365 nm. Bahan penelitian ini yaitu molase, *purified water*, padatan sodium hidroksida (NaOH), *hydrogen peroxide* 30%, dan kertas saring *Whatman* nomor 42.

Prosedur percobaan

Metode penelitian menggunakan hasil modifikasi dari percobaan Hulupi *et al.* (Hulupi, Abdilah, *et al.*, 2020). Sebanyak 50 gram molase dan 1.5 gram NaOH dilarutkan dengan 200 mL *purified water* dalam gelas kimia 500 mL. Kemudian tambahkan 70 mL H₂O₂ 30% kedalam gelas kimia. Larutan campuran dihomogenkan dengan *magnetic stirrer* dilanjutkan dengan sonikasi selama 10 menit untuk memastikan larutan tercampur sempurna. Setelah itu, campuran yang telah homogen dimasukkan dalam *autoclave* pada suhu 120°C selama 3 jam. Kemudian di dinginkan. Setelah itu sonikasi larutan selama 2x30 menit untuk memecah partikel menjadi lebih kecil dan dilanjutkan dengan menyaring larutan menggunakan ukuran 0,45 µL.

Analisis data

Uji Fluoresensi sekitar 5 mL *carbon dots* (CDs) yang telah diencerkan dengan *purified water* (1:25) dimasukkan kedalam kuvet kuarsa kemudian sinari dibawah lampu UV 365 nm untuk melihat warna pendaran yang dihasilkan (Hulupi *et al.*, 2020). Warna pendaran berwarna hijau atau biru menandakan adanya *carbon dots* (CDs).

Analisis Spektrum UV-Vis. Larutan *carbon dots* (CDs) yang telah diencerkan dengan air demineral dengan perbandingan (1:25) kemudian dianalisis spektrum panjang gelombangnya pada daerah UV (200-400 nm) menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Adanya puncak-puncak absorbansi yang dihasilkan pada daerah UV memperkuat indikasi adanya *carbon dots* (CDs).

Analisis Gugus Fungsional. Ambil sampel 2mL *carbon dots* (CDs) kemudian evaporasi/dikeringkan pada suhu 70°C hingga terbentuk padatan. Padatan sampel tersebut kemudian analisis menggunakan instrumen FTIR. Distribusi Ukuran Partikel dengan PSA. Metode ini digunakan untuk menentukan sebaran ukuran partikel dalam larutan *carbon dots*. Pengujian dilakukan di Laboratorium ILRC (*Integrated Laboratory and Research Center*) Universitas Indonesia. Ukuran partikel *carbon dots* harus memiliki ukuran dalam rentang nano.

Hasil dan Pembahasan

Sintesis *Carbon dots* (CDs)

Hasil penelitian ini, telah berhasil membuat *carbon dots* berbasis biomassa yaitu molase dengan menggunakan metode pendekatan *bottom up* yaitu hidrotermal sederhana. Penambahan larutan H₂O₂ 30% dapat digunakan sebagai oksidator kuat untuk sintesis CDs berbasis produk alami yang dapat membantu proses karbonisasi dan degradasi molekul kompleks. NaOH berfungsi sebagai katalis basa sekaligus mengontrol ukuran dan stabilitas CDs dengan mencegah proses aglomerasi (Asadah *et al.*, 2022). Bahan-bahan tambahan tersebut membuat larutan molase berubah dari warna hitam menjadi coklat.

Setelah proses homogenasi dengan bantuan *stirrer*, larutan campuran CDs disonikasi selama 10 menit sebelum proses karbonisasi. Karbonisasi dilakukan menggunakan *autoclave* pada suhu 120°C dan berlangsung selama tiga jam. Proses pemanasan dalam *autoclave* mengalami beberapa proses utama yaitu dehidrasi yang menyebabkan molekul lebih reaktif, kemudian polimerisasi dengan membentuk rantai karbon lebih panjang (struktur inti CDs) dan akhirnya proses karbonisasi yang membentuk struktur CDs yang stabil. CDs yang diproduksi dengan metode hidrotermal biasanya memiliki gugus fungsi permukaan hidrofilik seperti gugus -OH, -COOH, yang dapat memberikan sifat dispersibilitas air yang baik (Kaurav *et al.*, 2023).

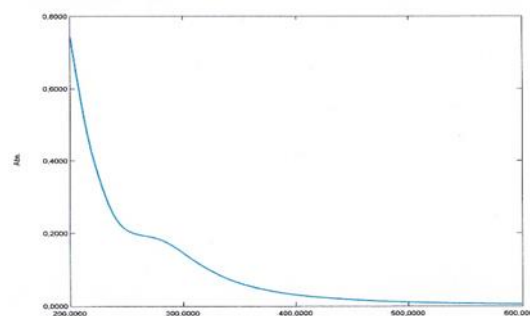
Uji Karakterisasi *Carbon dots* (CDs)

Proses karbonisasi pada metode hidrotermal, biomassa akan diubah menjadi CDs yang dapat memengaruhi sifat fungsional permukaan sehingga dapat menyebabkan CDs larut dalam air dan berifat fotoluminesensi (Haryadi, Purnama and Wibowo, 2018). Warna biru muncul setelah larutan CDs disinari dibawah sinar UV 365 nm. Hal tersebut indikasi pertama bahwa CDs telah terbentuk. Emisi material yang disebabkan oleh sinar ultraviolet terjadi karena adanya transisi elektron pada orbital atom pembentuk CDs yang menyebabkan fenomena fluoresensi terjadi (Wibrianto *et al.*, 2021). Proses transisi elektron π dari pita HOMO ke pita LUMO terjadi ketika ada

ketidakseimbangan elektron-elektron di pita konduksi. Akibatnya, elektron kembali ke pita valensi dan mengeluarkan energi fluoresensi. Menurut Liu *et al* (Liu *et al.*, 2019), pendaran warna CDs akan tergantung pada ukuran partikel, semakin besar ukuran partikel, pendaran warna akan berubah menjadi hijau atau merah. Larutan konsentrat CDs dapat menunjukkan fluoresensi berwarna biru dibawah sinar UV 365 nm karena luas permukaannya menurun, menunjukkan bahwa larutan encer CDs memiliki partikel primer yang lebih kecil daripada larutan konsentratnya. Sehingga larutan encer CDs dapat menghasilkan fluoresensi berwarna biru dibawah sinar UV 365 nm.



Gambar 1. Efek Fluoresensi CDs (1:25) dengan *purified water*. Larutan CDs tanpa UV 365 nm (kiri); Larutan CDs dibawah sinar UV 365 nm (kanan).

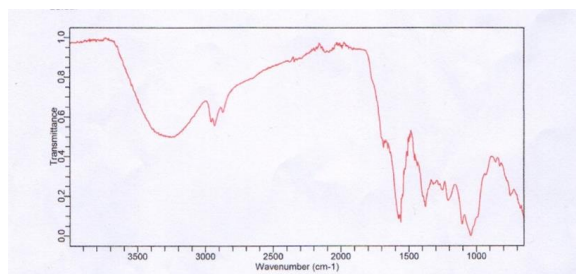


Gambar 2. Spektrum UV CDs

Uji spektrum pada daerah UV-Vis dilakukan untuk mengetahui puncak-puncak absorbansi dan panjang gelombang eksitasi guna mengetahui sifat optik dari CDs. Hasil spektrum UV-Vis larutan dihasilkan adanya serapan kuat dibawah 230 nm yang diinterpretasikan sebagai transisi π - π^* dari ikatan C=C aromatik dalam inti karbon. Kemudian adanya puncak halus pada panjang gelombang 270-300 nm menunjukkan adanya transisi n- π^* dari gugus karbonil (C=O).

Namun, pada dasarnya *carbon dots* akan menunjukkan penyerapan kuat di wilayah ultraviolet (200-400 nm) disertai ekor memanjang ke daerah tampak (Liu *et al.*, 2020). Spektrum UV-Vis CDs terlihat pada gambar 2.

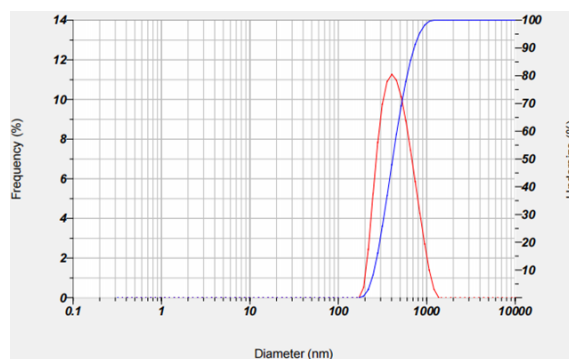
Keberadaan gugus fungsional pada CDs memiliki peranan penting untuk melihat potensi CDs berikatan dengan material atau bahan yang akan diteliti (Rahmi *et al.*, 2023). Oleh karena itu keberadaan gugus fungsional dilakukan menggunakan FTIR, dimana gugus fungsional yang mengandung oksigen, seperti alkohol, eter, dan asam karboksilat akan muncul pada CDs (Sari *et al.*, 2025). Hasil menunjukkan bahwa adanya puncak penting seperti pada spektrum 3400 cm^{-1} (O-H), 2920 cm^{-1} (C-H) alifatik, 1700 cm^{-1} (C=O) karbonil, 1580 cm^{-1} (C=C) aromatik, 1380 cm^{-1} (C-H), dan 1050 cm^{-1} (C-O). Terlihat spektrum gugus OH menjadi lemah karena sebagian besar gugus OH rusak selama proses hidrotermal (Das *et al.*, 2014). Terlihat pada gambar 3. Keberadaan gugus OH, C=O, dan C-O memperlihatkan bahwa CDs berbasis biomassa seperti molase memiliki permukaan terfungsionalisasi secara baik yang dapat meningkatkan dispersibilitas dalam air, dan berpotensi untuk berinteraksi dengan molekul lain.



Gambar 3. Spektrum FTIR *carbon dots*

Analisis distribusi ukuran partikel CDs telah dilakukan menggunakan instrument Horiba-SZ 100z *particle size analyzer* di Laboratorium *Integrated Laboratory and Research Center* Universitas Indonesia (UI) dengan metode DLS (*dynamic light scattering*), dimana menghasilkan ukuran rata-rata (*Z-average*) yaitu 313,5 nm dengan *polydispersity index* (PI) 1,003. Nilai PI tersebut menunjukkan partikel memiliki sebaran ukuran yang cukup homogen dan sebagian besar partikel berukuran dominan dibawah 500 nm. Hasil tersebut sejenis dengan percobaan yang dilakukan oleh

Prasannamedha (Prasannamedha & Kumar, 2022), dimana *carbon dots* yang berasal dari molase dengan metode hidrotermal memiliki rentang 100-8000 nm. Terlihat pada gambar 4.



Gambar 4. Distribusi Ukuran Partikel (PSA) CDs.

Kesimpulan

Carbon dots (CDs) dengan ukuran partikel 313,5 nm, adanya fluoresensi biru dibawah sinar UV 365 nm, serapam puncak pada panjang gelombang 230 nm, dan gugus OH, C=O, dan C-O telah berhasil disintesis dari biomassa seperti molase menggunakan metode hidrotermal sederhana. Pembaruan signifikan dalam pendekatan *green synthesis* dengan menghasilkan produk dengan ukuran unik yang berpotensi untuk aplikasi sensor lingkungan, adsorben, atau penghantaran obat skala makro yang cocok pada sistem mukosa atau gastrointestinal.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang terlibat dalam penelitian ini.

Referensi

- Asadah, E., Hadisantoso, E. P., & Setiadji, S. (2022, March). Pengaruh Suhu Kalsinasi Terhadap Sintesis Kadmium Sulfida (Cd) Menggunakan Metode Presipitasi untuk Penanganan Metilen Biru Secara Fotokatalisis. In *Gunung Djati Conference Series* (Vol. 7, pp. 60-69). 10.3390/pharmaceutics13111874
- Chan, M. H., Chen, B. G., Ngo, L. T., Huang, W. T., Li, C. H., Liu, R. S., & Hsiao, M. (2021). Natural carbon nanodots: Toxicity

- assessment and theranostic biological application. *Pharmaceutics*, 13(11), 1874. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13111874>
- Das, B., Dadhich, P., Pal, P., Srivas, P. K., Bankoti, K., & Dhara, S. (2014). Carbon nanodots from date molasses: new nanolights for the in vitro scavenging of reactive oxygen species. *Journal of Materials Chemistry B*, 2(39), 6839-6847. <https://doi.org/10.1039/c4tb01020e>
- Haryadi, H., Purnama, M. R. W., & Wibowo, A. (2018). C dots derived from waste of biomass and their photocatalytic activities. *Indonesian Journal of Chemistry*, 18(4), 594-599. <https://doi.org/10.22146/ijc.26652>
- Hill, S. & Galan, M.C. (2017). Fluorescent carbon dots from mono- and polysaccharides : synthesis , properties and applications', pp. 675–693. Available at: <https://doi.org/10.3762/bjoc.13.67>
- Hulupi, M., Abdilah, F., Turdini, S., & Ashshoffi, S. (2020, December). Synthesis and material characterizations of S-doped carbon nanodots from blackstrap molasses. In *International Seminar of Science and Applied Technology (ISSAT 2020)* (pp. 72-76). Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/aer.k.201221.014>
- Hulupi, M., Haryadi, M. A. A. B., & Sularasa, A. (2020, July). Characterization and Application of N-doped Carbon Nanodots from Molasses Produced by Microwave-Assisted Extraction Method for Photocatalytic Degradation of Methylene Blue. In *MSCEIS 2019: Proceedings of the 7th Mathematics, Science, and Computer Science Education International Seminar, MSCEIS 2019, 12 October 2019, Bandung, West Java, Indonesia* (p. 463). European Alliance for Innovation. <https://doi.org/10.4108/eai.12-10-2019.2296443>
- Kaurav, H., Verma, D., Bansal, A., Kapoor, D. N., & Sheth, S. (2023). Progress in drug delivery and diagnostic applications of carbon dots: a systematic review. *Frontiers in Chemistry*, 11, 1227843. <https://doi.org/10.3389/fchem.2023.1227843>
- Lin, X., Xiong, M., Zhang, J., He, C., Ma, X., Zhang, H., ... & Huang, Q. (2021). Carbon dots based on natural resources: Synthesis and applications in sensors. *Microchemical Journal*, 160, 105604. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105604>
- Liu, J., Li, R. & Yang, B. (2020) 'Carbon Dots: A New Type of Carbon-Based Nanomaterial with Wide Applications', *ACS Central Science*, 6(12), pp. 2179–2195. Available at: <https://doi.org/10.1021/acscentsci.0c01306>
- Liu, M. L., Chen, B. B., Li, C. M., & Huang, C. Z. (2019). Carbon dots: synthesis, formation mechanism, fluorescence origin and sensing applications. *Green chemistry*, 21(3), 449-471. <https://doi.org/10.1039/c8gc02736f>
- Mao, H., Xue, M., & Han, G. (2021). Synthesis, properties and applications of fluorescent carbon dots. *Gongneng Cailiao/J Funct Mater*, 52(1), 01053-01063. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-9731.2021.01.009>
- Prasannamedha, G., & Kumar, P. S. (2022). Hydrothermal carbonization of waste sugarcane bagasse for the effective removal of emerging contaminants from aqueous solution. *Adsorption Science & Technology*, 2022, 8684737. <https://doi.org/10.1155/2022/8684737>
- Rahmi, C.N., Sugiarti, S. and Yuliani, A.D. (2023) 'Karbon dots (C-dots) dari Bahan Hayati untuk Deteksi Logam Berat', *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 19(2), p. 234. Available at: <https://doi.org/10.20961/alchemy.19.2.61881.234-246>
- Sari, F. D., Jannah, N., & Nuryanti, S. D. (2025). Pengaruh Suhu Sintesis Hidrotermal Terhadap Sifat Optik Karbon Dots Terdoping Nitrogen (N-CDs). *Jurnal Crystal: Publikasi Penelitian Kimia dan Terapannya*, 7(1), 92-99. <https://doi.org/10.36526/jc.v7i1.5078>
- Wibrianto, A., Putri, D. F., Sakti, S. C., Lee, H. V., & Fahmi, M. Z. (2021). Naproxen release aspect from boron-doped carbon nanodots as a bifunctional agent in cancer

therapy. *RSC advances*, 11(59), 37375-37382.

<https://doi.org/10.1039/d1ra06148h>

Zhu, S., Meng, Q., Wang, L., Zhang, J., Song, Y., Jin, H., ... & Yang, B. (2013). Highly

photoluminescent carbon dots for multicolor patterning, sensors, and bioimaging. *Angewandte Chemie International Edition*, 52(14).

<https://doi.org/10.1002/anie.201300519>