

Pemanfaatan Ampas Tebu sebagai Bahan Baku Sintesis Carbon Quantum Dots melalui Metode Hidrotermal

Muhammad Dzulkarnain Alfari¹, Akhmad Faruq Alhikami¹, Ena Marlina²

¹Department of Mechanical Engineering, Universitas Islam Malang, Malang 65144, Indonesia

Email korespondensi: dzulkarnain.alfaris7@gmail.com

Abstrak

Pemanfaatan limbah pertanian ampas tebu sebagai sumber bahan baku nanomaterial menawarkan peluang yang signifikan dalam pengembangan teknologi energi berkelanjutan. Riset ini berfokus pada sintesis Carbon Quantum Dots (CQDs) yang terbuat dari limbah ampas tebu melalui metode karbonisasi hidrotermal satu pot. Proses sintesis dilakukan pada suhu 200 °C selama 6 jam, diikuti dengan sentrifugasi, filtrasi, dialisis, dan pengeringan beku untuk mendapatkan produk akhir berupa serbuk halus. Hasil karakterisasi menggunakan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) dan spektroskopi UV-Vis menunjukkan bahwa Carbon Quantum Dots (CQDs) yang dihasilkan memiliki morfologi permukaan halus berukuran nanometer, distribusi ukuran yang seragam, dan kandungan karbon dan oksigen yang dominan. Puncak serapan pada panjang gelombang sekitar 292 nm dan keberadaan gugus fungsi hidroksil menunjukkan karakteristik khas Carbon Quantum Dots (CQDs) yang bersifat fotoluminesensi dan reaktif secara kimia. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa ampas tebu memiliki potensi tinggi untuk diubah menjadi nanomaterial karbon yang bernilai tambah, sekaligus menawarkan solusi ramah lingkungan untuk pemanfaatan limbah biomassa.

Kata kunci: Titik Quantum; Ampas Tebu; karbonisasi Hidrotermal; Biomassa; Nanomaterial

Abstract

The use of agricultural waste, bagasse, as a source of nanomaterial raw materials offers significant opportunities in the development of sustainable energy technologies. This research focuses on the synthesis of Carbon Quantum Dots (CQDs) made from bagasse waste through a one-pot hydrothermal carbonization method. The synthesis process was carried out at a temperature of 200 °C for 6 hours, followed by centrifugation, filtration, dialysis, and freeze-drying to obtain a final product in the form of a fine powder. The characterization results using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and UV-Vis spectroscopy indicate that the resulting Carbon Quantum Dots (CQDs) have a smooth surface morphology measuring nanometers, a uniform size distribution, and a dominant content of carbon and oxygen. The absorption peak at a wavelength of around 292 nm and the presence of hydroxyl functional groups indicate the typical characteristics of Carbon Quantum Dots (CQDs) which are photoluminescent and chemically reactive. Overall, this research proves that bagasse has high potential to be converted into value-added carbon nanomaterials, while offering an environmentally friendly solution for the utilization of biomass waste.

Keywords: Carbon quantum dots; sugarcane bagasse; Hydrothermal carbonization; Biomass; Nanomaterials

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara maju dengan sumber daya limbah pertanian yang melimpah yang dapat digunakan untuk energi terbarukan (Fitri *et al.* 2023). Peningkatan volume limbah biomassa pertanian di Indonesia menjadi salah satu tantangan lingkungan dan kesejahteraan makhluk hidup (Norhidayah Abu *et al.* 2023) yang signifikan, seiring dengan meningkatnya aktivitas industri berbasis sumber daya alam. Salah satu limbah yang

paling melimpah adalah ampas tebu (Sun *et al.* 2022), yaitu sisa padat hasil proses ekstraksi nira pada industri gula. Setiap ton tebu yang digiling dapat menghasilkan sekitar 250–300 kg ampas tebu, yang sebagian besar belum dimanfaatkan secara optimal dan kerap hanya dibakar sebagai bahan bakar boiler (Yrkiha 2023) atau bahkan dibuang begitu saja. Kondisi ini tidak hanya menimbulkan potensi pencemaran lingkungan, tetapi juga menunjukkan rendahnya nilai ekonomi dari limbah tersebut. Padahal, secara kimiawi ampas tebu

mengandung komponen utama berupa kandungan senyawa organik, di antaranya 70–88% sukrosa, 2–4% glukosa, 2–4% fruktosa, 1,1–3% asam karboksilat, serta 0,5–2,5% asam amino komponen lignoselulosa yang kaya akan karbon, selulosa, hemiselulosa, dan lignin, sehingga berpotensi besar untuk diolah menjadi material bernilai tambah tinggi. Salah satu material yang saat ini menarik perhatian luas di bidang nanoteknologi adalah carbon quantum dots (CQDs) (Collins *et al.* 2021), partikel karbon berukuran nanometer yang memiliki sifat fluoresensi kuat, kestabilan kimia tinggi, biokompatibilitas baik, serta ramah lingkungan. Dengan memanfaatkan ampas tebu sebagai sumber karbon alami untuk sintesis CQDs, upaya ini tidak hanya dapat mengurangi dampak lingkungan akibat limbah biomassa, tetapi juga berkontribusi terhadap pengembangan material fungsional berkelanjutan yang mendukung prinsip ekonomi sirkular dan teknologi hijau.

Oleh sebab itu, peneliti terdahulu (Pandiyan *et al.* 2020) memanfaatkan biomassa dari limbah ampas tebu sebagai bahan dasar untuk sintesis Carbon Quantum Dots (CQDs). karena mempunyai sifat sifat unik (Kamilah *et al.* 2021) , yang akan menjadi langkah strategis untuk meningkatkan nilai tambah dari biomassa tersebut guna untuk mendukung upaya pengelolaan limbah pertanian yang berkelanjutan. Kandungan karbon yang tinggi pada ampas tebu menjadikanya sumber karbon yang potensial dalam pembentukan struktur nanokarbon. Proses sintesis yg dilakukan biasanya menggunakan karbonisasi hidrotermal, metode sintesis yang relatif mudah, ramah lingkungan, memberikan keuntungan dan dapat mengontrol ukuran partikel yang dihasilkan (Fisika *et al.* 2024). Metode ini

memungkinkan pembentukan partikel berukuran nano sekaligus menghasilkan ukuran partikel yang seragam dengan kestabilan kimia tinggi dan permukaan yang kaya gugus fungsional aktif tanpa memerlukan pelarut beracun. Parameter-parameter tersebut sangat berpengaruh terhadap struktur, ukuran partikel, kestabilan dispersi, dan sifat optik CQDs yang dihasilkan. CQDs yang terbentuk biasanya memiliki sifat fotoluminisens, fotonik dan elektronik (Mohammad Ehtisham Khan *et al.* 2022) yang kuat, kestabilan kimia yang baik, serta luas permukaan aktif yang tinggi, sehingga sangat menarik untuk dikembangkan lebih lanjut. Melalui pendekatan ini, limbah ampas tebu yang sebelumnya tidak bernilai dapat diubah menjadi material fungsional berteknologi tinggi dengan potensi aplikasi luas, seperti dibidang energi terbarukan biokimia, biomedis (Das, Mondal, and Ghosh 2024). Hasil sintesis dari biomassa limbah ampas tebu ini diharapkan menghasilkan CQDs dengan sifat optik dan kimia yang baik untuk kemajuan teknologi sehingga dapat dikembangkan lebih lanjut untuk berbagai aplikasi karakterisai optik.

Berdasarkan uraian tersebut, Penelitian ini berfokus pada sintesis carbon quantum dots (CQDs) (Haya, Astuti, and Usna 2024) yang berasal dari biomassa limbah ampas tebu menggunakan metode hidrotermal (HTC) sebagai pendekatan ramah lingkungan dalam menghasilkan material karbon berukuran nanometer. Kebaruan penelitian ini terletak pada pemanfaatan limbah ampas tebu sebagai prekursor utama yang masih jarang dieksplorasi secara mendalam, serta penerapan metode hidrotermal dengan kondisi operasi yang dioptimalkan untuk memperoleh CQDs dengan karakteristik optik dan morfologi

yang stabil. Sebagian besar penelitian terdahulu menggunakan bahan karbon lain seperti kulit jeruk, sekam padi, atau glukosa murni, dan susu sapi (Kumar, Kumar, and Gathania 2022) sedangkan penelitian ini menonjolkan penggunaan ampas tebu yang melimpah di Indonesia sebagai sumber karbon alternatif berbiaya rendah (Kang n.d. 2020). Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan metode sintesis hijau (*green synthesis*) sekaligus meningkatkan nilai tambah limbah pertanian melalui produksi material fungsional bernilai tinggi. Penggunaan biomassa ini tidak hanya memberikan solusi terhadap permasalahan limbah pertanian yang melimpah, tetapi juga membuka peluang dalam mewujudkan material fungsional bernilai ekonomi tinggi melalui proses sintesis yang efisien dan rendah emisi. Metode karbonisasi hidrotermal satu pot telah terbukti efisien untuk CQDs dari biomassa (Turdini, Mulyadi, and Yuningsih 2025) keunggulan lain dari metode ini adalah kemampuannya dalam mengontrol morfologi dan sifat optik CQDs melalui pengaturan parameter suhu, dana waktu reaksi. CQDs yang dihasilkan dari limbah ampas tebu berpotensi besar untuk diaplikasikan pada berbagai bidang, seperti pranti optoelektronika, lampu LED, fotokatalis, sensor logam berat, *Bio-imaging* (Jan Eda 2024).

2. Metode



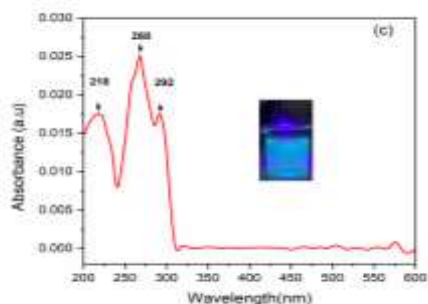
Gambar 1. Gambar proses *Hydrothermal carbonization* satu-pot

Ampas tebu dibersihkan menggunakan air Aquades untuk menghilangkan sisa gula, tanah, dan pengotor lainnya kotoran yang terkandung. Setelah dibersihkan ampas tebu kemudian dijemur untuk mengurangi kadar airnya, dilanjutkan dengan pengeringan menggunakan panas sinar matahari hingga mencapai berat konstan. Ampas tebu yang telah kering kemudian digiling menjadi bubuk halus menggunakan blender dan diayak untuk mendapatkan partikel yang lebih kecil dari 1 mm. dilanjutkan dengan pencampuran sekitar 2g bubuk ampas tebu yang telah diayak dan asam sitrat di dispersikan dalam 50 mL air Aquades dan diaduk hingga homogen. Larutan amonia encer (25% b/b) ditambahkan tetes demi tetes untuk menyesuaikan pH mendekati netral. Campuran kemudian dipindahkan ke dalam autoklaf baja tahan karat dan mengalami karbonisasi hidrotermal pada suhu 200 °C selama 6 jam. Setelah pendinginan alami hingga suhu ruang, larutan berwarna gelap diperoleh dan disonikasi selama 1 jam untuk memastikan dispersi yang seragam. Suspensi yang dihasilkan disentrifugasi pada 12000 rpm selama 30 menit untuk memisahkan partikel yang tidak larut. Supernatan disaring melalui membran 0,22 µm untuk memperoleh larutan CQD yang jernih, yang dapat segera digunakan atau disimpan pada suhu 5 °C untuk karakterisasi lebih lanjut (FTIR, UV–Vis).

3. Hasil dan Pembahasan

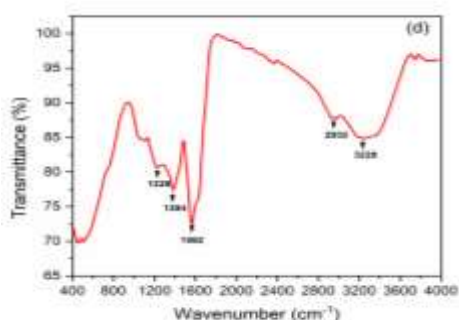
Gambar 2A dan 2B menampilkan hasil karakterisasi struktur dari *Carbon Quantum Dots* (CQDs) yang disintesis. Analisis sifat optik menggunakan spektroskopi UV–Vis. (Gambar 2A) menunjukkan tiga puncak serapan utama pada panjang gelombang 218, 268, dan 292 nm. Puncak serapan pada 268 nm berkaitan dengan transisi elektronik $\pi-\pi^*$ dari domain aromatik sp^2 , sedangkan puncak pada 292 nm dikaitkan dengan transisi $n-\pi^*$ yang berasal dari gugus karbonil ($C=O$). Fenomena ini mengindikasikan bahwa struktur CQDs tersusun atas inti karbon

terkonjugasi dengan gugus fungsi yang mengandung oksigen pada permukaannya.



Gambar 2A. Hasil uji analisis karakterisasi spektroskopi UV-Vis

Hasil ini diperkuat oleh analisis FTIR (Gambar 2B) yang menampilkan pita serapan karakteristik gugus fungsi hidroksil (-OH) pada 3228 cm^{-1} , regangan C-H alifatik pada 2932 cm^{-1} , serta gugus C=O pada 1226 cm^{-1} . Selain itu, pita regangan C=C aromatik terdeteksi pada rentang $1384\text{--}1562\text{ cm}^{-1}$, menunjukkan keberadaan struktur karbon aromatik dalam material. Secara keseluruhan, kombinasi hasil karakterisasi dari UV-Vis, dan FTIR menegaskan bahwa CQD hasil sintesis memiliki nanostruktur yang seragam, permukaan yang kaya akan gugus oksigen, serta domain aromatik karbon yang berkontribusi terhadap aktivitas kimia dan kestabilan optiknya.



Gambar 2B. Hasil uji analisis karakterisasi *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mensintesis limbah ampas tebu menjadi CQDs dengan menggunakan metode hidrotermal satu pot pada suhu $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 6 jam. Hal ini

didukung dengan adanya hasil uji karakterisasi CQDs menggunakan UV-Vis yang menunjukkan adanya puncak serapan khas pada panjang gelombang 218, 268 dan 292 nm, sedangkan analisis FTIR memperlihatkan gugus fungsi hidroksil (-OH), C-H alifatik, dan C=O yang menegaskan pembentukan struktur karbon berukuran nanometer dengan permukaan kaya gugus oksigen. Dua kombinasi analisis tersebut bisa membuktikan bahwa CQDs yang dihasilkan memiliki kestabilan optik yang tinggi, dan karakterisasi kimia yang aktif, sehingga potensi untuk dikembangkan menjadi material fungsional sangat besar

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada pihak yang telah memberi dukungan dalam penelitian, baik berupa sarana maupun dana terhadap penelitian yang telah dilakukan.

Daftar Pustaka

- Collins, Sean P, Alan Storrow, Dandan Liu, Cathy A Jenkins, Karen F Miller, Christy Kampe, and Javed Butler. 2021. "No Title 済無No Title No Title No Title." : 167–86.
- Das, Surya, Somnath Mondal, and Dhiman Ghosh. 2024. "Carbon Quantum Dots in Bioimaging and Biomedicines." (January): 1–22. doi:10.3389/fbioe.2023.1333752.
- Fisika, Studi, Universitas Negeri Surabaya, Studi Fisika, Universitas Negeri Surabaya, Program Studi Fisika, and Universitas Negeri Surabaya. 2024. "C, 170." 13: 60–73.
- Fitri, Hidayatul, Gürkan A K Gürdil, Elçin Yeşiloğlu, and Cevher Hynek. 2023. "Biomass Potential from Agricultural Residues for Energy Utilization in West Nusa Tenggara (WNT), Indonesia." (August): 1405–14. doi:10.1111/gcbb.13100.
- Haya, Nabila Fadia, Astuti Astuti, and Sri Rahayu Alfitri Usna. 2024. "Sintesis Dan Analisis Absorpsi UV-Vis Nanokomposit ZnO@CQD (Carbon Quantum Dots)." *Jurnal Fisika Unand* 13(3): 406–12. doi:10.25077/jfu.13.3.406-412.2024.
- Jan Eda, Sukma. 2024. "Sintesis Tinta Printer Berfluoresensi Berbasis Carbon Quantum Dots Berbiaya Murah Untuk Anti Pemalsuan Dokumen." *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika* 8(1): 17–26. doi:10.24198/jiif.v8i1.50454.
- Kamilah, Nurul, Khairul Anuar, Huey Ling Tan, Ying Pei Lim, and Mohamad Su. 2021. "A Review on Multifunctional Carbon-Dots Synthesized

- From Biomass Waste : Design / Fabrication , Characterization and Applications.” 9(April): 1–22. doi:10.3389/fenrg.2021.626549.
- Kang, by Chao. “A Review of Carbon Dots Produced from Biomass Wastes.”
- Kumar, Avinash, Ishant Kumar, and Arvind K Gathania. 2022. “Synthesis , Characterization and Potential Sensing Application of Carbon Dots Synthesized via the Hydrothermal Treatment of Cow Milk.” *Scientific Reports*: 1–12. doi:10.1038/s41598-022-26906-4.
- Online, View Article. 2023. “RSC Advances Development of Biomass Waste-Based Carbon.” : 28230–49. doi:10.1039/d3ra05840a.
- Pandiyan, Surendran, Lakshmanan Arumugam, Sakthy Priya Srirengan, Rameshkumar Pitchan, Pushpalatha Sevugan, Karthik Kannan, Geetha Pitchan, Tejaswi Ashok Hegde, and Vinitha Gandhirajan. 2020. “Biocompatible Carbon Quantum Dots Derived from Sugarcane Industrial Wastes for Effective Nonlinear Optical Behavior and Antimicrobial Activity Applications.” doi:10.1021/acsomega.0c03290.
- Science, Environmental. 2020. “The Potential of Palm Oil Waste Biomass in Indonesia in 2020 and 2030 The Potential of Palm Oil Waste Biomass in Indonesia in 2020 and 2030.”
- Sun, Shouxiang, Shuai Guo, Qin Qin, Yexin Liao, Mei Li, and Fangkai Du. 2022. “Box – Behnken Design Optimizing Sugarcane Bagasse-Based Nitrogen-Doped Carbon Quantum Dots Preparation and Application in Ferric Ion Detection.”
- Turdini, Shopi, Dikdik Mulyadi, and Lela Mukmilah Yuningsih. 2025. “Hydrothermal Synthesis of Carbon Dots Derived from Biomass: A Simple and Sustainable Approach.” *Jurnal Biologi Tropis* 25(3): 4206–12. doi:10.29303/jbt.v25i3.9842.
- Уткіна, Марина. 2023. “Роль Міжнародних Організацій У Розбудові Системи Фінансового Моніторингу1Роль Міжнародних Організацій У Розбудові Системи Фінансового Моніторингу1.” 2(1): 56–63. doi:10.36074/logos-27.10.2023.20.