Volume 7 Nomor 1Juli Tahun 2026
JURNAL KIMIA DAN REKAYASA

Pengaruh Suhu Karbonisasi Terhadap Sintesis dan Karakterisasi Nanokomposit Fe_3O_4/CQDs

The Effect of Carbonization Temperature on the Synthesis and Characteristics of Fe_3O_4/CQDs

Angle Cendriani [1], Ali Amran[2*]
[1, 2*,]Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang, Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Barat, Indonesia
Corresponding Author: acendriani@gmail.com

ABSTRAK : Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh suhu karbonisasi terhadap pembentukan dan karakteristik optik Fe_3O_4/CQDs. Sintesis Fe_3O_4/CQDs menggunakan metode Hidrotermal. Sumber karbon yang digunakan pada penelitian ini adalah daun pisang kering. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu optimal untuk mensintesis CQD adalah 300°C, yang mana intensitas absorbansi lebih tinggi diamati, yang menunjukkan jumlah pembentukan CQDs yang lebih besar dalam sampel. Pada penelitian ini karakterisasi menggunakan spektroskopi UV-Vis untuk mengevaluasi sifat optik, menentukan λmax, mengamati perubahan absorbansi, dan mengidentifikasi transisi elektronik akibat variasi suhu karbonisasi. Hasil karakterisasi menggunakan spektroskopi UV-Vis menunjukkan bahwa nanokomposit Fe_3O_4/CQDs yang disintesis pada suhu karbonisasi 300°C memiliki puncak absorbansi pada panjang gelombang 321 nm, sedangkan sampel yang disintesis pada suhu 400°C menunjukkan puncak absorbansi pada 283 nm. Perbedaan spektrum absorbansi ini mengindikasikan bahwa suhu karbonisasi memengaruhi sifat optik material melalui perubahan struktur CQDs dan proses transisi elektronik yang terjadi pada sampel. Pentingnya mengendalikan suhu karbonisasi, karena suhu di atas 300°C dapat menyebabkan oksidasi berlebihan, merusak struktur permukaan CQDs dan mengakibatkan berkurangnya sifat optik. Studi ini juga membahas pembentukan jalur non-radiatif pada suhu yang lebih tinggi, yang dapat mengurangi intensitas pendaran cahaya karena transfer energi yang tidak memadai antara inti dan permukaan CQDs.

Kata kunci : Fe_3O_4; carbon quantum dots (CQDs); suhu karbonisasi; metode hidrotermal; spektroskopi Uv–Vis

ABSTRACT: *This study aimed to investigate the effect of carbonization temperature on the formation and optical characteristics of Fe_3O_4/CQDs. Fe_3O_4/CQDs nanocomposites were synthesized using the hydrothermal method, with dried banana leaves employed as the carbon source. The results indicated that the optimum carbonization temperature for CQD synthesis was 400°C, at which a higher absorbance intensity was observed, suggesting the formation of a greater amount of CQDs in the sample. UV–Vis spectroscopy was employed to evaluate the optical properties of the synthesized nanocomposites, determine the maximum absorption wavelength (λmax), monitor changes in absorbance, and identify electronic transitions resulting from variations in carbonization temperature. The UV–Vis spectra revealed that the Fe_3O_4/CQDs nanocomposite synthesized at a carbonization temperature of 300°C exhibited a maximum absorption peak at 321 nm, whereas the sample synthesized at 400°C showed a maximum absorption peak at 283 nm. These differences in the absorption spectra indicate that carbonization temperature significantly influences the optical properties of the material through changes in the CQD structure and the electronic transition processes occurring within the samples. Careful control of the carbonization temperature is essential because temperatures above 300°C may lead to excessive oxidation, resulting in damage to the surface structure of CQDs and deterioration of their optical properties. Furthermore, this study discusses the formation of non-radiative pathways at higher temperatures, which reduce the photoluminescence intensity due to insufficient energy transfer between the CQD core and surface.*

Keywords *: Fe_3O_4; carbon quantum dots (CQDs); carbonization temperature; hydrothermal method; UV–Vis spectroscopy*

1. PENDAHULUAN

Penggabungan nanopartikel yang memiliki karakter magnetik dan optik menghasilkan nanokomposit magnetik luminisens yang berpotensi besar untuk dikembangkan. Salah satu jenis nanopartikel magnetik yang banyak diaplikasikan adalah nanopartikel Fe_3O_4. Material Fe_3O_4 menarik perhatian karena sifat kemagnetannya sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel. Semakin kecil ukuran nanopartikel Fe_3O_4, semakin besar respons magnetik yang dihasilkan (Ganapathe, Mohamed and Yunus, 2020)

Nanopartikel magnetik berbasis magnetit (Fe_3O_4) merupakan salah satu material yang paling banyak dikembangkan dalam aplikasi biomedis karena memiliki magnetisasi saturasi tinggi dan bersifat superparamagnetik pada ukuran nano. Sifat kemagnetan Fe_3O_4 sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel, di mana semakin kecil ukuran partikel maka respons magnetiknya semakin meningkat. Namun demikian, nanopartikel Fe_3O_4 memiliki kelemahan berupa kestabilan yang rendah karena mudah teroksidasi menjadi Fe_2O_3 serta cenderung mengalami aglomerasi akibat interaksi antarmuka partikel yang kuat (Xu and Lee, 2022)

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan modifikasi permukaan nanopartikel Fe_3O_4, salah satunya melalui pembentukan struktur core–shell menggunakan material optik (Samokhvalov, Artemyev and Nabiev, 2013). Modifikasi ini tidak hanya berfungsi meningkatkan kestabilan kimia dan mencegah aglomerasi, tetapi juga berperan dalam menurunkan potensi toksisitas material magnetik. Berbagai penelitian telah melaporkan keberhasilan penggabungan Fe_3O_4 dengan material optik seperti ZnO untuk menghasilkan nanokomposit magnetik luminisens, meskipun masih ditemukan keterbatasan berupa terjadinya aglomerasi partikel (Winatapura *et al.*, 2014).

Salah satu material optik yang saat ini banyak dikembangkan adalah carbon quantum dots (CQDs). CQDs merupakan nanopartikel karbon berukuran kurang dari 10 nm yang memiliki sifat fotoluminisens, biokompatibilitas tinggi, tidak beracun, serta mudah disintesis dari berbagai sumber karbon, termasuk limbah organik. CQDs juga dikenal memiliki stabilitas fotokimia yang baik dan mampu berpendar ketika disinari cahaya (Hu, 2016).

Potensi limbah daun pisang sangat besar sebagai karbon aktif karena memiliki kandungan lignoselulosa dan karbon yang relatif tinggi sebegaimana telah disampaikan oleh penelitian sebelumnya (Ribas *et al.*, 2013). Limbah daun pisang dikonversi menjadi karbon aktif melalui aktivasi kimia menghasilkan luas permukaan spesifik tinggi dalam rentang 798,51-1466,7 m^2/g dan ukuran pori rata-rata dalam rentang 2-3 nm (Salman and Khadim, 2017). Pada penelitian ini daun pisang kering digunakan sebagai sumber karbon untuk sintesis CQDs dengan

metode hidrotermal (Nazibudin *et al.*, 2023).

Hidrotermal merupakan metode yang sering dijumpai pada berbagai literatur terkait proses sintesis C-dots. Hidrotermal memiliki kelebihan mudah diterapkan, tidak membutuhkan banyak biaya serta menggunakan material yang tidak beracun untuk mengatur formasi C-dots (Jorns and Pappas, 2021). Carbon dots yang dihasilkan dari sintesis metode hidrotermal dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya yaitu suhu pemanasan. Penelitian menyebutkan bahwa C-dots yang terbuat dari bahan biomassa (selulosa, hemiselulosa, kitin, dan lignin), suhu di atas 180^{o}C diperlukan untuk proses hidrolisis dan karbonisasi pada komponen biomassa. Namun pada suhu di atas 300^{o}C sumber karbon akan mengalami oksidasi berlebihan yang menyebabkan kerusakan pada struktur permukaan C-dots yang berujung pada penurunan terhadap sifat optik C-dots. Pada suhu yang lebih tinggi akan terjadi pembentukan saluran-saluran non-radiative yang menyebabkan terjadinya eksitasi elektron ke ground state berlebihan melalui saluran non-radiative, sehingga terjadi penurunan intensitas pendaran yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh transfer energi antara inti dengan permukaan yang tidak memadai oleh karena itu, menurunkan suhu reaksi menjadi pilihan pada pergeseran yang diamati dari emisi cahaya C-dots dari biru ke merah (Nazibudin *et al.*, 2023).

Penggabungan nanopartikel Fe_3O_4 dengan CQDs dalam bentuk nanokomposit Fe_3O_4/CQDs menjadi pendekatan yang menjanjikan untuk menghasilkan material magnetik luminisens dengan sifat optik dan magnetik yang terintegrasi. Selain itu, penggunaan sumber karbon alami seperti daun pisang kering sebagai bahan baku CQDs memberikan nilai tambah dari sisi keberlanjutan dan pemanfaatan limbah organik. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada sintesis nanokomposit Fe_3O_4/CQDs serta kajian pengaruh kondisi sintesis, khususnya suhu karbonisasi, terhadap pembentukan dan karakteristik optik material yang dihasilkan (Novita and Astuti, 2023).

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan merupakan penelitian eksperimental. Dimana untuk sintesis Fe_3O_4 menggunakan metode kopresipitasi, sintesis CQDs menggunakan metode pemanasan sederhana (karbonisasi) dan metode hidrotermal untuk membentuk Fe_3O_4/CQDs (Winatapura *et al.*, 2014).

2.1 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian kali ini berupa gelas ukur 50mL, gelas kimia 50 mL, *hotplate*, pipet

tetes, *magnetic stirrer*, *teflon autoclave*, laser 405 nm, spektroskopi UV-Vis.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian kali ini adalah aquadest, $FeCl_3.6H_2O$ (99%) 1M, $FeSO_4.7H_2O$ (99%) 0.5M, NH_4OH (99%) 30mL, Fe_3O_4 (99%) 0.2 g, isopropanol, daun pisang. Semua bahan kimia yang digunakan diperoleh dari Merck.

2.2 Prosedur Penelitian

2.2.1 Sintesis Fe_3O_4

Melarutkan masing-masing 8,109 g $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dan 4,170 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ke dalam 30 mL aquades. Kemudian dipanaskan pada suhu 60 °C menggunakan hot plate. Selanjutnya, sebanyak 30 mL larutan NH_4OH ditambahkan secara bertahap sambil diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 90 menit hingga terbentuk endapan. Endapan yang diperoleh dicuci dengan aquades sebanyak tiga kali, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 90 °C selama 4 jam. Setelah kering, endapan digerus hingga diperoleh serbuk nanopartikel Fe_3O_4 (Novita and Astuti, 2023).

2.2.2 Sintesis CQDs

Memotong daun pisang kering menjadi bagian kecil, kemudian memanaskannya dalam oven selama 1 jam 40 menit pada suhu 120°C. Potongan daun pisang kering tersebut kemudian ditumbuk hingga menjadi serbuk. Proses karbonisasi dilakukan terhadap serbuk daun pisang dengan menggunakan furnace pada variasi suhu 300°C dan 400°C selama 1 jam untuk menghasilkan CQDs (Novita and Astuti, 2023).

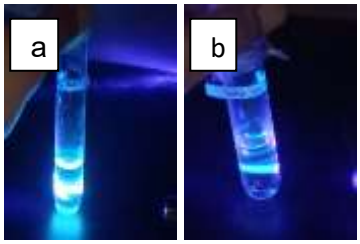
2.2.3 Sintesis Fe_3O_4/CQDs

Sebanyak 0,4 g serbuk Fe_3O_4 ke dalam 5 ml aquades lalu serbuk CQDs sebanyak 1 g dilarutkan dalam 10 ml aquades dengan penambahan tiga tetes isopropanol. Kedua larutan dicampur dan diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 5 menit, lalu campuran dimasukkan ke dalam teflon autoclave untuk menjalani proses hidrotermal pada suhu 180°C selama 12 jam. Setelah hidrotermal, campuran disonikasi dan disentrifugasi selama 20 menit untuk memisahkan endapan. Endapan dikeringkan pada suhu 150°C selama 3 jam. Nanokomposit Fe_3O_4/CQDs yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi untuk menganalisis sifat optik menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Spektrum yang dihasilkan dianalisis berdasarkan posisi puncak absorbansi (λmax), intensitas absorbansi, serta pergeseran panjang gelombang yang terjadi akibat variasi suhu karbonisasi. Nilai λmax digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik transisi elektronik pada material, sedangkan intensitas absorbansi digunakan

sebagai indikator terbentuknya CQDs dan perubahan sifat optiknya. Penentuan suhu karbonisasi optimum dilakukan dengan membandingkan spektrum absorbansi dari masing-masing sampel, di mana suhu yang menghasilkan karakteristik absorbansi terbaik, ditunjukkan oleh puncak absorbansi yang paling jelas dan intensitas absorbansi yang paling tinggi, ditetapkan sebagai kondisi optimum sintesis Fe_3O_4/CQDs (Novita and Astuti, 2023).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis CQD dari sumber karbon daun pisang kering dilakukan melalui metode pemanasan sederhana dengan variasi suhu 300°C dan 400°C. Variasi suhu ini bertujuan untuk menentukan suhu optimal dalam pembentukan CQD dari daun pisang kering. Pembentukan CQD diawali dengan pengamatan menggunakan laser UV 405 nm. Munculnya perpendaran (fotoluminesensi) saat terpapar sinar UV menunjukkan keberhasilan pembentukan CQDs, karena sifat luminisensi CQDs memungkinkan mereka memancarkan cahaya pada panjang gelombang 405nm. Analisis lebih lanjut terhadap sifat fisik CQD dapat dilihat pada gambar 1.

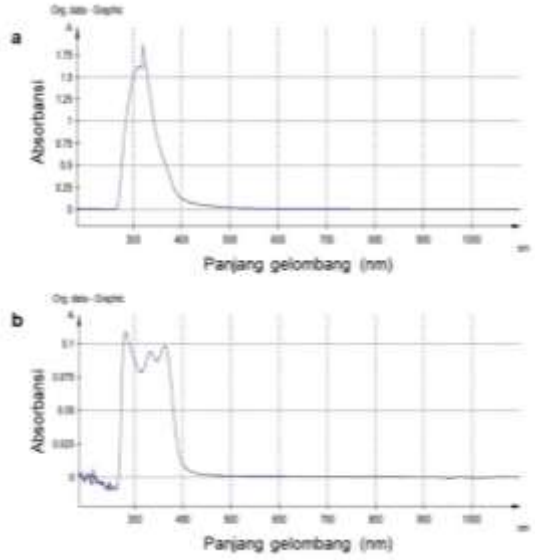


Gambar 1. Hasil penyinaran menggunakan laser 405 nm (a) suhu karbonisasi 300°C (b) suhu karbonisasi 400°C

Pendaran pada CQDs terjadi karena elektron memperoleh energi dari paparan sinar UV, yang menyebabkan elektron berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. Namun, elektron hanya berada dalam keadaan eksitasi untuk waktu singkat sebelum kembali ke keadaan awal, mengisi kekosongan yang sebelumnya ditinggalkan. Proses ini menghasilkan pelepasan energi dalam bentuk pancaran cahaya. Perbedaan warna pendaran pada CQDs dipengaruhi oleh variasi suhu selama sintesis (Vibhute *et al.*, 2022).

Berdasarkan gambar 2, sifat fisis CQDs di bawah cahaya tampak menunjukkan warna transparan, sedangkan di bawah sinar UV memancarkan warna biru kehijauan. CQDs yang disintesis pada suhu 300°C menunjukkan intensitas pendaran yang lebih kuat dibandingkan dengan suhu 400°C. Hal ini berkaitan dengan kepadatan molekul penyusun CQDs, di mana intensitas warna pendaran yang lebih rendah mengindikasikan jumlah partikel penyusun CQD yang lebih sedikit (He *et al.*, 2018).

Selanjutnya, sifat optik Fe_3O_4/CQDs dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk menentukan spektrum absorbansi dan panjang gelombangnya. Hasil pengukuran spektrum absorbansi kedua material tersebut disajikan pada gambar 2.



Gambar 2. Spektrum absorbansi Fe3O4/CQDs (a) suhu karbonisasi 300°C (b) suhu karbonisasi 400°C

Berdasarkan data yang di dapatkan dapat di lihat bahwa pada suhu 300°C terdapat puncak absorbansi pada panjang gelombang 321nm, sedangkan pada suhu 400°C ditemukan puncak absorbansi pada panjang gelombang 283nm. Penurunan intensitas absorbansi diduga terjadi akibat perubahan struktur CQDs, di mana karbon dari daun pisang kering mengalami transformasi menjadi karbon arang (Sead *et al.*, 2025).

Puncak absorbansi yang terlihat dari hasil karakterisasi UV-Vis pada gambar 2 menunjukkan bahwa seluruh sampel mengalami transisi elektronik (eksitasi) sebagai respons terhadap penyerapan energi dari panjang gelombang UV. Penyerapan ini terjadi karena energi sinar UV pada panjang gelombang tertentu sesuai dengan energi yang diperlukan untuk eksitasi elektron pada sampel. Transisi elektronik tersebut melibatkan perpindahan elektron dari tingkat energi tertinggi pada orbital molekul terisi (HOMO) ke tingkat energi terendah pada orbital molekul kosong (LUMO) (Dwandaru *et al.*, 2020).

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mensintesis nanokomposit Fe_3O_4/CQDs melalui pengendalian suhu karbonisasi dan menunjukkan bahwa suhu karbonisasi berpengaruh terhadap pembentukan serta sifat optik material. Hasil karakterisasi menggunakan spektroskopi UV-Vis menunjukkan bahwa nanokomposit Fe_3O_4/CQDs yang disintesis pada suhu karbonisasi 300°C memiliki puncak absorbansi pada panjang gelombang 321 nm, sedangkan sampel yang disintesis pada suhu 400°C menunjukkan puncak absorbansi pada 283 nm. Perbedaan spektrum absorbansi ini mengindikasikan bahwa suhu karbonisasi memengaruhi sifat

optik material melalui perubahan struktur CQDs dan proses transisi elektronik yang terjadi pada sampel. Pada suhu di atas 300 °C terjadi kecenderungan oksidasi berlebih dan pembentukan jalur non-radiatif yang menurunkan sifat optik material. Hasil ini menegaskan bahwa pengaturan suhu karbonisasi merupakan salah satu faktor kunci dalam menghasilkan nanokomposit Fe_3O_4/CQDs dengan karakteristik optik yang optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Prof. Drs. Ali Amran, M.Pd., MA., PhD selaku dosen pembimbing akademik atas bimbingan, arahan, motivasi, serta saran yang diberikan selama pelaksanaan penelitian hingga penyusunan artikel ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara akademik maupun teknis, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Dwandaru, W.S.B. *et al.* (2020) ‘Cdots and cdots/s synthesis from nam-nam fruit (Cynometra cauliflora l.) via frying method using cooking oil’, *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 15(2), pp. 555–560. Available at: https://doi.org/10.15251/djnb.2020.152.555.

Ganapathe, L.S., Mohamed, M.A. and Yunus, R.M. (2020) ‘Magnetite (Fe 3 O 4) Nanoparticles in Biomedical Application : From Synthesis to Surface Functionalisation’.

He, M. *et al.* (2018) ‘Material and Optical Properties of Fluorescent Carbon Quantum Dots Fabricated from Lemon Juice via Hydrothermal Reaction’.

Hu, S. (2016) ‘Tuning Optical Properties and Photocatalytic Activities of Carbon-based “quantum Dots” Through their Surface Groups’, *Chemical Record*, 16(1), pp. 219–230. Available at: https://doi.org/10.1111/tcr.201500225.

Jorns, M. and Pappas, D. (2021) ‘A Review of Fluorescent Carbon Dots , Their Synthesis , Physical and Chemical Characteristics , and Applications’.

Nazibudin, N.A. *et al.* (2023) ‘Hydrothermal Synthesis of Carbon Quantum Dots : An Updated Review’, 1(1), pp. 192–206.

Novita, D. and Astuti, A. (2023) ‘Sintesis dan Karakterisasi Sifat Optik Nanokomposit Fe3O4@CQD (Carbon Quantum Dots)’, *Jurnal Fisika Unand*, 12(2), pp. 311–316. Available at: https://doi.org/10.25077/jfu.12.2.310-315.2023.

Ribas, E. *et al.* (2013) ‘Thermochemical characterization of banana leaves as a potential energy source’, *ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT*, 75, pp. 603–608. Available at: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.08.008.

Salman, J.M. and Khadim, A.J. (2017) ‘Adsorption of pesticides onto a banana leaf activated carbon : Optimization study using response surface methodology’, pp. 1–11.

Samokhvalov, P., Artemyev, M. and Nabiev, I. (2013) ‘Basic Principles and Current Trends in Colloidal Synthesis of Highly Luminescent Semiconductor Nanocrystals’, pp. 1–14. Available at: https://doi.org/10.1002/chem.201202860.

Sead, F.F. *et al.* (2025) 'Nanoscale Advances Carbon quantum dots for sustainable energy : enhancing electrocatalytic reactions through', pp. 3961–3998. Available at: https://doi.org/10.1039/d5na00205b.

Vibhute, A. *et al.* (2022) 'Fluorescent carbon quantum dots: Synthesis methods, functionalization and biomedical applications', *Applied Surface Science Advances*, 11(June), p. 100311. Available at: https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2022.100311.

Winatapura, D.S. *et al.* (2014) 'SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT Fe 3 O 4 @ ZnO DENGAN METODA PRESIPITASI', 17(1), pp. 71–77.

Xu, S. and Lee, T.R. (2022) 'Fe3O4 Nanoparticles: Structures, Synthesis, Magnetic Properties, Surface Functionalization, and Emerging Applications', 11(23). Available at: https://doi.org/10.3390/app112311301.Fe.