Pemanfaatan Lapisan Tipis ZnO-Carbon Dots (ZnO-CDs) Berbahan Dasar Biomassa Lokal untuk Aplikasi Sensor Kualitas Air Melalui Proses Sintesis *One-Pot* Berbantuan *Microwave*

Riset Unggulan ITB

Akfiny Hasdi Aimon[1], Muhammad Arief Mustajab E. M.[1], Arie Wibowo[2], William Xaveriano Waresindo[1], Salma Aridha Muflihah[1], Muhammad Ilham Gusti Y.[1].

[1] Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung
[2] Departemen Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung

Abstrak

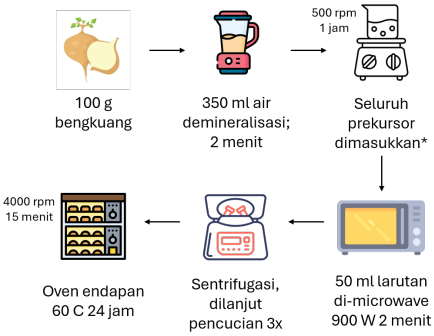
Ketersediaan air bersih yang berkualitas dan teknologi pemantauan kualitas air menjadi tantangan besar seiring dengan meningkatnya pertumbuhan populasi dan aktivitas industri. Penelitian ini mengembangkan sensor kualitas air berbasis nanokomposit ZnO-Carbon Dots (ZnO-CDs). Komposit disintesis dari ekstrak bengkuang melalui metode ramah lingkungan berbasis *microwave*. Analisis struktural dan morfologi (XRD, SEM, TEM) mengonfirmasi terbentuknya fase wurtzite ZnO nanorod yang terdekorasi merata oleh CDs, sehingga luas permukaannya meningkat signifikan (distribusi homogen C 78%, O 16%, Zn 4%, N 2%). Meskipun membentuk kluster mikro hidrodinamik (~2,8 µm), ZnO-CDs memiliki stabilitas koloidal yang sangat baik di dalam air ($\zeta = -34{,}7$ mV). Evaluasi fotoluminesensi menunjukkan bahwa sinergi antara kekosongan oksigen pada ZnO (emisi 515 nm) dan peran N-CDs sebagai pemerangkap elektron berhasil menekan laju rekombinasi e^-/h^+. Karakteristik yang unggul ini menunjukkan potensi ZnO-CDs dalam aplikasi sensor kualitas air.

Keyword: *Microwave*, nanokomposit ZnO-CDs, *Pachyrhizus erosus*, sintesis hijau, stabilitas koloid.

Pendahuluan

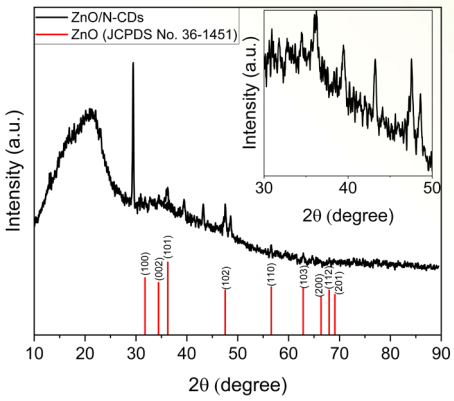
Degradasi lingkungan perairan akibat masifnya aktivitas industri memerlukan pengembangan teknologi pemantauan kualitas air yang sensitif, *real-time*, dan terjangkau. ZnO merupakan material semikonduktor yang menjanjikan untuk aplikasi sensor karena stabilitas kimia dan biaya produksinya yang unggul. Namun, efisiensi fungsionalnya dibatasi oleh celah pita energinya yang lebar serta laju rekombinasi elektron-hole yang tinggi. Untuk mengatasi hal tersebut, integrasi CDs ke dalam matriks ZnO dapat menjadi pilihan karena CDs terbukti secara optik mampu bertindak sebagai pemerangkap elektron yang memperlambat rekombinasi muatan[1]. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dieksplorasi nanokomposit ZnO-CDs yang kaya akan *oxygen vacancies* melalui metode *green synthesis* dengan memanfaatkan ekstrak bengkuang (*Pachyrhizus erosus*)[2]. Dengan memanfaatkan keunggulan kedua material tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menghadirkan sensor kualitas air yang ramah lingkungan, murah, dan berkinerja tinggi.

Metode Penelitian



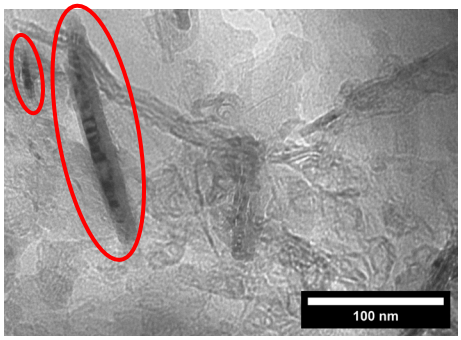
Gambar 1 Metode sintesis ZnO-CDs.

Hasil dan Diskusi



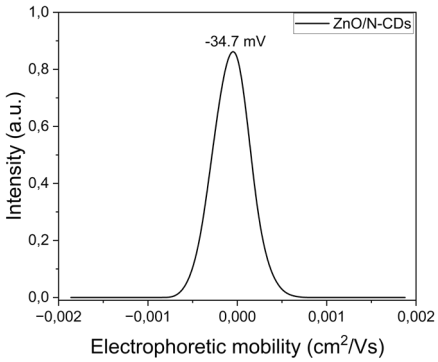
Gambar 2 Spektrum XRD sampel ZnO-CDs.

Teramati puncak lebar (20,89°) yang menunjukkan karbon grafitik hibridisasi sp2 (002) (JCPDS no. 08-041512–14)[3]. Puncak-puncak 36,2°, 47,5°, 56,6°, dan 62,8° setara dengan bidang (101), (102), (110), dan (103) dari ZnO *wurtzite* JCPDS no. 36-1451[1]. Terdapat tambahan puncak pada 29,44° (104) yang kemungkinan berasal dari kalsit (JCPDS 05-0586) akibat biomineralisasi in-situ ekstrak bengkuang selama sintesis.



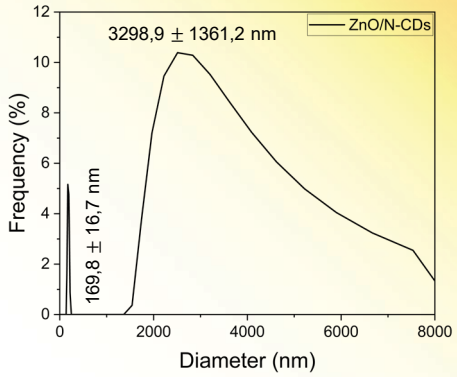
Gambar 3 Citra TEM sampel ZnO-CDs.

Morfologi sampel menunjukkan ZnO berbentuk batang disertai bintik gelap kecil yang merepresentasikan CDs.

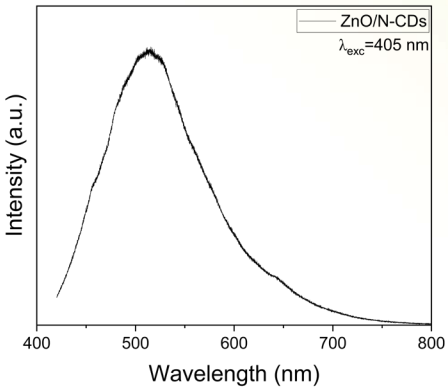


Gambar 4 Mobilitas elektroforetik (potensial zeta) sampel ZnO-CDs.

Sampel memiliki potensial zeta yang sangat negatif (-34,7 mV) dan mobilitas rata-rata 7×10^{-5} cm²/Vs yang mencegah aglomerasi lebih lanjut dan memastikan stabilitas koloidnya.



Gambar 5 Distribusi ukuran hidrodinamik sampel ZnO-CDs.



Gambar 6 Spektrum fotoluminesensi sampel ZnO-CDs.

Spektrum PL (eksitasi 405 nm) dengan puncak emisi di 515 nm mengonfirmasi keberadaan *oxygen vacancies* pada ZnO yang bersinergi dengan CDs sebagai pemerangkap elektron untuk menekan laju rekombinasi muatan (e^-/h^+) yang dapat meningkatkan efisiensi fungsional komposit.

Simpulan

- ZnO-CDs berhasil disintesis via metode *microwave* menggunakan ekstrak bengkuang.
- Sampel ZnO-CDs membentuk kluster mikro ($\bar{Z}$ =2770,4 nm) dengan dispersi air yang sangat stabil (potensial ζ =-34,7 mV).
- Komposit yang dihasilkan kaya akan *oxygen vacancies* (emisi 515 nm) dan CDs efektif bertindak sebagai pemerangkap elektron.
- Sinergi ZnO-CDs mampu menekan rekombinasi e^-/h^+ dan menjadikannya ideal untuk aplikasi sensor kualitas air.

Referensi

1) Rani, N., Kumar, S. & Kumar, K. Environ Sci Pollut Res 31, 63408–63425 (2024).
2) Prathap, N., Balla, P., Rajkumar, M. & Venkatesan, S. Sustainable Chemistry One World 10, 100238 (2026)
3) Sharma, N., Sharma, I. & Bera, M. K. J Fluoresc 32, 1039–1049 (2022).