

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara agraris di wilayah tropis dan salah satu produsen pangan terbesar di dunia, sehingga pengolahan pertanian yang berkelanjutan menjadi sangat penting. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan bahan alami dari dunia pertanian (Dewi dkk., 2025). Belakangan ini, pupuk berbahan biomassa semakin banyak dipilih sebagai alternatif yang lebih unggul karena kemampuannya dalam memperbaiki struktur pori tanah serta meningkatkan kandungan karbon dalam tanah (Sun dkk., 2024). Pupuk berbasis karbon ini merupakan produk beragam yang berfungsi untuk meningkatkan kualitas tanah sekaligus menyediakan unsur hara bagi tanaman. Karakteristik dan manfaatnya bervariasi tergantung pada sumber, proses pembuatan, dan cara penggunaannya. Secara umum, penggunaan bahan pemupukan alami menawarkan solusi yang lebih berkelanjutan dengan menekan dampak negatif bahan pemupukan sintetis terhadap kesuburan tanah, meningkatkan ketahanan sistem pertanian terhadap perubahan iklim, serta mengurangi dampak lingkungan dari aktivitas budidaya (Drahansky dkk., 2016). Oleh karena itu, pengembangan pupuk berbasis karbon seperti Carbon Quantum Dots (CQDs) menjadi topik yang menarik untuk diteliti lebih lanjut karena potensinya sebagai pupuk dalam mendukung produktivitas pertanian secara efisien dan ramah lingkungan.

Carbon Quantum Dots (CQDs) merupakan material golongan nanopartikel karbon yang berfluoresensi dan berdimensi nol yang sebagian besar terdiri dari karbon dengan ukuran di bawah 10 nm (Atchudan dkk., 2021). CQDs memiliki sifat-sifat unggul seperti biokompatibilitas, toksisitas rendah, dan kemampuan berfluoresensi menjadikannya dapat digunakan di bidang pertanian. Sifat inertnya membuat CQDs ramah lingkungan dan aman digunakan, mengurangi ketergantungan pada sumber daya terbatas. Aplikasinya dalam pertanian meningkatkan fotosintesis dan pertumbuhan tanaman, mendukung produksi pangan berkelanjutan untuk masa depan (Guo, Liu, Wei, dkk., 2022; Kaur & Verma, 2022; Kim dkk., 2022; Manzoor dkk., 2023). Struktur CQDs umumnya terdapat gugus

fungsi di permukaannya seperti amino ($-NH_2$), karboksil ($-COOH$), dan hidroksil ($-OH$), dimungkinkan dapat membentuk ikatan hidrogen dari gugus fungsi tersebut membuat CQDs ini mudah terdispersi dalam air. Kandungan oksigen dalam CQDs merupakan gugus hidrofilik (gugus hidroksil dan karboksil) pada permukaan CQDs sehingga dapat dengan mudah bergabung dengan molekul air untuk mempercepat pertumbuhan tanaman, karena dapat mendukung pertumbuhan tanaman pada tahap pra-panen, seperti mempercepat perkecambahan biji (Li dkk., 2023; Agnol dkk., 2021; Guo dkk., 2022).

Carbon quantum dots dapat disintesis dari bahan biomassa, hal ini dikarenakan bersumber dari bahan yang dapat terbarukan, tersedia di alam, hemat biaya, dan ramah lingkungan (Wareing dkk., 2021). Biomassa secara umum dianggap sebagai prekursor yang efektif untuk menghasilkan CQDs berkualitas tinggi dengan efisiensi kuantum yang baik. (Atchudan dkk., 2021). Biomassa yang dapat digunakan sebagai sumber bahan menghasilkan CQDs salah satunya adalah belimbing wuluh (Venugopalan & Vidya, 2022). Studi terbaru lebih menekankan multifungsi CQDs yang berasal dari biomassa. Beberapa penelitian telah melaporkan pemanfaatan CQDs dengan berbagai prekursor dan metode sintesis yang berbeda terhadap pertumbuhan tanaman. Penelitian oleh Agnol dkk., (2021) menggunakan *Spirulina* sebagai prekursor dengan metode hidrotermal menghasilkan partikel berukuran sekitar 10 nm yang diuji pada biji lentil dan menunjukkan efek peningkatan panjang akar dan batang. Selanjutnya, penelitian oleh Saikia dkk., (2023) memanfaatkan limbah teh sebagai prekursor dengan metode ultrasonik sehingga menghasilkan partikel berukuran sekitar 5 nm. Aplikasi CQDs tersebut pada tanaman stevia menunjukkan peningkatan perkecambahan.

Belimbing wuluh atau dengan nama latinnya *Averrhoa bilimbi* L. dapat menjadi kandidat sebagai sumber penghasil CQDs, karena merupakan buah yang banyak mengandung sumber karbon dari asam, seperti asam askorbat dan asam oksalat, asam sitrat, dan flavonoid yang dapat berperan sebagai sumber karbon dalam proses sintesis CQDs. Karbon dalam CQDs dari belimbing wuluh dapat meningkatkan ketersediaan sumber nutrisi dalam tanah dengan mengikat unsur hara dan membuatnya lebih mudah diserap oleh akar tanaman. Senyawa-senyawa ini

memberikan sifat antioksidan dan stabilitas pada CQDs, sehingga dapat melindungi tanaman dari stress. Kandungan dalam ekstrak buah belimbing wuluh memiliki peran penting dalam pembentukan CQDs dan sebagai pupuk, karena keberadaan karbon yang melimpah (Venugopalan & Vidya, 2022).

Ferjani dkk., (2024) telah mensintesis CQDs dari kulit alpukat menggunakan metode hidrotermal, produk CQDs yang dihasilkan memiliki ukuran partikel sebesar 2,22 nm degradasi zat warna *methyl orange* (MO) dengan efektifitas 78%. Agnol dkk., (2021) membuat CQDs dari biomassa spirulina dan mengaplikasikannya sebagai stimulan pertumbuhan tanaman menggunakan biji lentil. CQDs yang dihasilkan berukuran sekitar 10 nm, dengan emisi fotoluminesensi pada 450 nm saat dieksitasi pada 340–400 nm. Hasilnya menunjukkan peningkatan pertumbuhan biji lentil, menunjukkan potensi sebagai biostimulan pertanian. Venugopalan & Vidya, (2022) mensintesis CQDs dari belimbing wuluh menggunakan metode microwave (500 W, 20 menit) untuk sensor ion Cu^{2+} dan insektisida quinaphols, dengan batas deteksi masing-masing 115 nM dan 510 nM.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini melakukan sintesis *Carbon Quantum Dots* (CQDs) dari jus belimbing wuluh menggunakan metode hidrotermal pada suhu 120 °C selama 12 jam yang diaplikasikan sebagai pupuk untuk stimulan pertumbuhan kecambah dari biji kacang hijau. Karakterisasi CQDs dari belimbing wuluh meliputi analisis sifat optik (eksitasi-emisi) dengan fluoresensi dan UV-Vis, fotostabilitas terhadap UV dan penyimpanan, identifikasi gugus fungsi dengan FTIR dan Raman, serta morfologi, ukuran partikel, dan stabilitas dengan HR-TEM, PSA, dan zeta potensial. Aplikasi sebagai pupuk dilakukan pada biji kacang hijau yang ditanam selama tujuh hari, diamati pertumbuhan akar, batang, dan jumlah daun.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka dapat diidentifikasi permasalahan sebagai berikut:

1. Apakah CQDs dapat disintesis dari prekursor belimbing wuluh dengan menggunakan metode hidrotermal?

2. Bagaimana karakteristik produk CQDs hasil sintesis?
3. Bagaimana aktivitas produk CQDs hasil sintesis sebagai *nanofertilizer* pada pertumbuhan kecambah kacang hijau?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mensintesis CQDs dari prekursor belimbing wuluh dengan menggunakan metode hidrotermal
2. Menentukan karakteristik produk CQDs, meliputi sifat optik, kestabilan, *quantum yield*, ukuran partikel, morfologi partikel CQDs
3. Menentukan kemampuan CQDs belimbing wuluh jika diaplikasikan sebagai *nanofertilizer* pada pertumbuhan kecambah biji kacang hijau

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini mencakup informasi mengenai sintesis CQDs belimbing wuluh menggunakan metode hidrotermal, karakteristik hasil sintesis dan uji aktivitas CQDs belimbing wuluh sebagai *nanofertilizer*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah memberikan informasi tentang sintesis CQDs belimbing wuluh, karakterisasi dan aktivitasnya sebagai *nanofertilizer*.