

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Carbon Quantum Dots (CQDs) merupakan nanomaterial berbasis karbon berdimensi nol, semi-bulat dengan ukuran di bawah 10 nm, yang memiliki inti karbon sp^2 dan gugus fungsi permukaan melimpah (Dong dkk., 2024; Tepliakov dkk., 2019). CQDs dieksplorasi karena fotoluminesensi tinggi, sitotoksitas rendah, biokompatibilitas, dan stabilitas kimia yang sangat baik (Dong dkk., 2024). CQDs menunjukkan fluoresensi yang lebih unggul dan stabil, membuatnya serbaguna untuk aplikasi biomedis, sensor, dan perangkat optoelektronik (Huang dkk., 2019).

Sintesis CQDs dibagi menjadi dua pendekatan yaitu *top-down* (penghancuran material karbon makroskopik melalui laser irradiation, gelombang mikro/ultrasonik, atau oksidasi asam) dan *bottom-up* (perakitan molekular menggunakan proses hidrotermal atau media polimerisasi) (Tepliakov dkk., 2019). *Oil bath* adalah salah satu metode *bottom-up* sederhana, di mana minyak berfungsi sebagai medium untuk polimerisasi prekursor, memberikan suhu stabil dan merata (Jeesna dkk., 2023). Pendekatan *oil bath* membutuhkan perangkat sederhana sehingga menurunkan biaya produksi nanomaterial.

Penambahan nitrogen ke dalam CQDs (N-CQDs) terbukti meningkatkan intensitas fluoresensi dan efisiensi transfer elektron, sehingga memperbaiki kinerja luminesensi dan aktivitas elektrokimia (Wang dkk., 2008; Lai dkk., 2020). Penambahan silikon (Si-CQDs) mengubah sifat elektronik dan

meningkatkan ketahanan terhadap *photobleaching*, sekaligus menurunkan toksisitas pada sel (Qian dkk., 2014). Gabungan unsur N dan Si menghasilkan Si,N-CQDs yang memadukan luminesensi tinggi, stabilitas fotoluminesen, dan biokompatibilitas unggul sehingga dapat memperluas bidang aplikasinya.

Dalam bidang pertanian, aplikasi CQDs mulai menunjukkan potensi nyata di mana CQDs dapat mempercepat pertumbuhan serta meningkatkan ketahanan terhadap patogen (Jeesna dkk., 2023). Penelitian Wang dkk. (2021) juga menyebutkan bahwa CQDs dapat meningkatkan parameter pertumbuhan seperti berat basah dan kering, tinggi tanaman, serta luas daun. CQDs juga memperbaiki efisiensi fotosintesis melalui peningkatan kandungan klorofil dan kinerja fotokimia. Silika penting untuk fotosintesis, mengurangi transpirasi, dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres abiotik. Suplementasi Si memperkuat dinding sel padi dan meningkatkan enzim peroksidase (Luyckx dkk., 2017; Dorairaj & Ismail, 2017). Limbah silika geotermal umumnya menjadi masalah operasional dan lingkungan, tetapi dapat diolah menjadi nanomaterial bernilai ekonomis, mendukung ekonomi sirkular dan pembangunan berkelanjutan (Hayati dkk., 2021).

Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang memanfaatkan prekursor silika murni atau silika komersial, penelitian ini khusus menggunakan limbah silika geotermal sebagai sumber Si, sehingga mengintegrasikan pengelolaan limbah energi terbarukan ke dalam sintesis nanomaterial tanaman. Hal ini merupakan suatu inovasi yang belum banyak diulas dalam literatur CQDs pertanian.

Penelitian ini fokus mensintesis Si,N-CQDs dengan berbagai konsentrasi silika geotermal dan prekursor karbon melalui metode *oil bath*. Karakterisasi fisikokimia dilakukan menggunakan spektroskopi UV-Vis, fotoluminesensi, morfologi (SEM), dan distribusi elemen (EDX *mapping*). Selanjutnya, aktivitas Si,N-CQDs dievaluasi sebagai pupuk tambahan pada tanaman pakcoy melalui parameter pertumbuhan daun, luas daun, efisiensi klorofil, dan aktivitas fotosintesis. Diharapkan Si,N-CQDs yang dihasilkan memiliki distribusi ukuran monodispers, zeta potential optimal, daya serap UV-Vis dan intensitas fotoluminesensi yang tinggi, serta dapat memberikan efek positif pada pertumbuhan dan fotosintesis pakcoy. Sehingga Si,N-CQDs dapat menjadi pupuk nano tambahan berbasis limbah lokal, mendukung pertanian berkelanjutan dan menambah nilai ekonomi limbah geotermal.

I.2 Tujuan Penelitian

1. Mensintesis Si,N-CQDs dengan memanfaatkan silika limbah geotermal dengan metode *oil bath*
2. Menentukan pengaruh variasi massa SiO₂ terhadap sifat Si,N-CQDs yang dihasilkan melalui karakterisasi menggunakan lampu UV A (315-400 nm), Spektrofotometer *Photoluminescence*, FTIR, PSA, dan SEM
3. Menentukan aktivitas Si,N-CQDs sebagai pupuk tambahan terhadap tanaman pakcoy