

APLIKASI CARBON DOTS MENGGUNAKAN LIMBAH KULIT SALAK DENGAN MENGGUNAKAN METODE MICROWAVE UNTUK PERTUMBUHAN TANAMAN CAISIM

Amelia Febriana Fitri¹, Rahmat Firman Septiyanto², Yus Rama Denny Mukhtar³,
Isriyanti Affifah⁴, Ilham Mustaqim⁵, Widya Purbo Kusumaning Ayu⁶.

Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang, Indonesia

*Corresponding Author: 2280210029@untirta.ac.id

ABSTRAK

Pengembangan teknologi pertanian ramah lingkungan sangat penting untuk mendukung ketahanan pangan global. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis carbon dots (C-dots) dari limbah kulit salak menggunakan metode iradiasi *microwave* serta mengkaji pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman caisim (*Brassica juncea* L.). Kulit salak dihaluskan, disaring, dan dipanaskan menggunakan *microwave* untuk menghasilkan C-dots, yang dikonfirmasi melalui uji fluoresensi sinar UV. Tanaman caisim dibagi menjadi dua kelompok: satu disiram dengan aquades dan satu lagi dengan larutan C-dots, masing-masing selama 10 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman yang disiram larutan C-dots memiliki rata-rata pertumbuhan 3,5 cm, sedikit lebih rendah dibandingkan dengan 3,9 cm pada kelompok kontrol. Temuan ini menunjukkan bahwa C-dots berpotensi mendukung pertumbuhan tanaman, namun diperlukan optimalisasi konsentrasi dan metode aplikasi untuk meningkatkan efektivitasnya.

Kata Kunci: *carbon dots; limbah kulit salak; metode microwave; pertumbuhan caisim; inovasi pertanian*

ABSTRACT

The development of environmentally friendly agricultural technology is essential to support global food security. This study aims to synthesize carbon dots (C-dots) from salak peel waste using the microwave irradiation method and to examine their effect on the growth of caisim plants (*Brassica juncea* L.). The salak peel was blended with distilled water, filtered, and heated with microwave irradiation to produce C-dots, confirmed through UV fluorescence testing. Caisim plants were divided into two groups: one watered with distilled water and the other with a C-dots solution, both over a period of 10 days. Results showed that plants treated with C-dots grew to an average height of 3.5 cm, slightly lower than the 3.9 cm growth observed in the control group. These findings suggest that while C-dots have potential to support plant growth, optimization of their concentration and application methods is needed to maximize their effectiveness.

Keywords: *carbon dots; salak peel waste; microwave method; caisim growth; agrikultural innovation.*

PENDAHULUAN

Pertanian telah menjadi salah satu bidang vital dalam mempertahankan ketahanan pangan nasional selama ratusan tahun dan memerlukan inovasi dalam meningkatkan mutu dan kuantitas serta diversifikasinya. Kemajuan teknologi dalam bidang pertanian dapat membantu umat manusia dalam menurunkan masalah kekurangan gizi (Y. Li et al.,

2020). Seiring meningkatnya populasi dibutuhkan banyak sumber daya untuk mencukupi kebutuhan pangan manusia. Lebih dari 3 miliar metrik ton tanaman diproduksi secara global yang membutuhkan 187 juta metrik ton pupuk, hampir empat juta ton pestisida, 2,7 triliun meter kubik air (sekitar 70% dari seluruh penggunaan air tawar yang dikonsumsi secara global) (Lowry et al., 2019). Tanaman terpapar pada beragam jenis tekanan lingkungan yang dapat mengganggu fungsi normal metabolisme tanaman yang dapat menurunkan produktivitas (Zia et al., 2024). Dan penggunaan pestisida yang berlebihan ini dapat mengancam keanekaragaman hayati dan ekosistem serta telah menyebabkan resistensi serius terhadap zat-zat ini. Salah satu upaya dalam peningkatan mutu pertanian adalah dengan mengaplikasikan nanomaterial pada bidang pertanian. Dalam beberapa dekade terakhir, perhatian terhadap pengembangan teknologi ramah lingkungan semakin meningkat, terutama dalam bidang pertanian. Salah satu pendekatan yang menarik adalah pemanfaatan nanoteknologi untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Carbon dots sebagai salah satu material nanoteknologi, telah menjadi fokus penelitian karena sifatnya yang unik, seperti ukuran nano, fluoresensi yang tinggi, biokompatibilitas, dan kemampuan untuk meningkatkan efisiensi fotosintesis tanaman (Guirguis et al., 2023).

Carbon dots (C-dots) adalah sejenis nanomaterial karbon yang memiliki ukuran sangat kecil, berkisar antara 2 hingga 10 nanometer. Nanopartikel ini dapat meningkatkan pertumbuhan dan fotosintesis tanaman, menembus sel tanaman, mencapai nukleus dan melonggarkan struktur DNA yang mengarahkan pada peningkatan ekspresi gen dan ketahanan pada penyakit (H. Li et al., 2018; Manoj & Chauhan, 2024). Potensi aplikasi C-dots yang beragam mendorong penelitian intensif mengenai metode sintesis yang ramah lingkungan dan biaya yang terjangkau. Awalnya, C-dots disintesis menggunakan prekursor yang berasal dari batu bara halus dan jelaga. Namun, seiring dengan perkembangan penelitian, bahan yang digunakan untuk sintesis C-dots semakin bervariasi, termasuk bahan-bahan yang memiliki sumber karbon, seperti tanaman (Qothrunnada, 2024). Contoh tanaman yang berhasil disintesis dan menjadi sumber C-dots yaitu kulit buah naga yang digunakan sebagai peningkat pertumbuhan budidaya kangkung (*Ipomoea Aquatica*) (Aji et al., 2020). C-dots dapat disintesis dengan menggunakan dua metode, yaitu metode *bottom-up* dan metode *top-down*. Metode *bottom-up* yang sering digunakan adalah metode hidrotermal dan iradiasi gelombang mikro (*microwave*). Metode iradiasi gelombang mikro memiliki efisiensi pemanasan yang tinggi dan waktu reaksi yang singkat (S. Li, 2024). Gelombang mikro adalah gelombang elektromagnetik dengan frekuensi sekitar 2,45 GHz yang menghasilkan panas melalui mekanisme pemanasan dipolar dan konduksi ionik. Pada bahan yang mengandung molekul polar, gelombang mikro menyebabkan molekul berotasi mengikuti medan listrik osilasi, sehingga menghasilkan panas secara volumetrik, yakni merata dari dalam ke luar. Dalam penelitian ini, metode iradiasi *microwave* digunakan untuk menyintesis carbon dots dari limbah kulit salak karena prosesnya cepat, hemat energi, dan ramah lingkungan. Namun, tanpa pengendalian suhu yang tepat, seperti pada microwave rumah tangga, hasil sintesis dapat kurang seragam (Metaxas & Meredith, 1983; Putro & Maddu, 2019; Thostenson & Chou, 1999). Sedangkan metode *top-down* yang sering digunakan adalah metode laser, ablasi. Dari dua metode tersebut, metode *bottom-up* yang memiliki tahapan lebih mudah dan praktis dibandingkan dengan metode *top-down* yang memerlukan biaya lebih mahal (Nurfathiya, 2018).

Salah satu jenis limbah organik yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan C-dots adalah limbah kulit salak. Salak merupakan buah tropis yang tumbuh subur di Indonesia (Sholihah & Tarmidzi, 2022). Dalam beberapa penelitian sebelumnya, kulit salak telah digunakan untuk membuat produk antibakteri, serta olahan minuman seperti teh dan kopi, dan masih banyak lagi. Meskipun begitu, pemanfaatan limbah kulit salak masih tergolong minim (Fauziah, 2024). Oleh karena itu, penelitian ini memanfaatkan kulit salak sebagai bahan dasar untuk pembuatan C-dots yang diharapkan mampu mendukung pertumbuhan tanaman, khususnya tanaman caisim. Caisim merupakan jenis sayuran daun yang populer di Indonesia maupun di beberapa negara lain. Tanaman ini dimanfaatkan sebagai topping untuk beberapa makanan seperti bakso, mie ayam, capcay, dan sebagainya. Selain itu tanaman ini memiliki khasiat untuk kesehatan seperti peluruh air seni, obat batuk obat sakit kepala dan pembersih darah (M. Sholihah et al., 2022). Untuk meningkatkan dan mengembangkan produksi tanaman diperlukan upaya penerapan teknologi tepat guna untuk memaksimalkan potensi pertanian sehingga kebutuhan masyarakat terhadap bahan makanan bergizi dapat terpenuhi (Hartati & Rachman, 2022). Berdasarkan permasalahan tersebut, pada penelitian ini kami akan melakukan sintesis Carbon dots (C-dots) dengan bahan dasar ekstrak kulit salak menggunakan metode *bottom-up* yaitu iradiasi gelombang mikro (*microwave*), hasil sintesis ini akan digunakan untuk mengetahui efektivitas penggunaan c- dots dari ekstrak kulit salak pada pertumbuhan tanaman caisim.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan pendekatan kuantitatif deskriptif yang bertujuan untuk menguji pengaruh larutan C-dots terhadap pertumbuhan tanaman caisim. C-dots disintesis dari limbah kulit salak menggunakan iradiasi gelombang mikro. Sampel tanaman caisim dipilih secara purposive karena masa tumbuhnya yang cepat dan mudah diamati. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung dan pengukuran tinggi tanaman setiap hari selama 10 hari. Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan rata-rata pertumbuhan antara kelompok perlakuan (C-dots) dan kontrol (aquades) (Creswell, 2014). Validasi keberadaan C-dots dilakukan melalui uji fluoresensi menggunakan sinar UV. Wang et al., (2018) melakukan penelitian pada tumbuhan kacang hijau yang dimana C-dots dengan konsentrasi $0,02 \text{ mg mL}^{-1}$ ditemukan untuk meningkatkan panjang akar, panjang batang, kekuatan akar dan berat segar tanaman tunggal. Chakravarty et al., (2015) membuat *graphene quantum dots* (GQDs) dengan $0,2 \text{ mg/ml}$ untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman ketumbar dan bawang putih. Dari penelitian Saxena et al., (2014) pertumbuhan tanaman gandum dengan konsentrasi 50 mg/L^{-1} adalah pertumbuhan yang paling optimal dibandingkan dengan pertumbuhan konsentrasi lain. Penelitian ini berbeda dari penelitian sebelumnya yang umumnya menggunakan bahan kimia murni seperti asam sitrat untuk sintesis C-dots dan dilakukan dengan peralatan laboratorium canggih serta proses pemurnian lanjutan. Dalam penelitian ini menggunakan metode iradiasi *microwave* sederhana tanpa pemurnian sehingga lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Pengujian juga dilakukan secara langsung pada tanaman caisim di media tanah bukan kultur jaringan atau hidroponik, menjadikan studi ini lebih aplikatif untuk skala pertanian sederhana. Tanaman caisim dalam penelitian ini disiram menggunakan carbon dots dengan konsentrasi 50 mg/L^{-1} dibandingkan dengan tanaman

caisim yang disiram dengan aquades.

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu persiapan alat dan bahan, sintesis c-dots, dan pengaplikasian C-dots untuk penyubur tanaman caisim.

1. Alat dan Bahan

Pada penelitian ini, beberapa alat digunakan untuk mendukung kelancaran proses eksperimen. Alat-alat yang digunakan yaitu *microwave* merk Panasonic, gelas beaker 500 mL, gelas beaker 100 mL, gelas ukur 100 mL, laser ungu UV, spatula laboratorium, timbangan digital, filter kopi, blender, masker medis, sarung tangan lateks, gelas plastik, penggaris. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu aquades, limbah kulit salak, tanah gembur, benih tanaman caisim.

2. Tahap sintesis C-dots

Hal yang pertama dilakukan dalam mensintesis C-dots adalah menyiapkan kulit salak yang sudah dipisahkan dengan buah salak sebanyak 10 gram. Selanjutnya kulit salak dibersihkan dengan air bersih yang mengalir lalu setelah itu dibersihkan kembali menggunakan aquades secukupnya agar kulit salak menjadi lebih steril dan bersih. Proses selanjutnya yaitu menghaluskan kulit salak menggunakan blender. Setelah blender siap digunakan, kulit salak dimasukan kedalam blender lalu ditambahkan aquades sebanyak 250 mL yang diukur menggunakan gelas ukur. Dalam proses penghalusan dibutuhkan waktu kurang lebih 5 menit agar mendapatkan hasil yang benar-benar halus guna memperlancar proses penyaringan.

Kulit salak yang sudah dihaluskan menggunakan blender kemudian disaring menggunakan kertas filter kopi. Larutan yang sudah disaring selanjutnya pisahkan kedalam gelas beaker sebanyak 20 mL. Larutan ini dibuat sebanyak 4 sampel. Selanjutnya sampel dimasukkan ke dalam *microwave* untuk dipanaskan dengan waktu 15 menit. Setelah sampel selesai di *microwave*, sampel dikeluarkan dari *microwave*. Sampel yang awalnya berupa larutan setelah di *microwave* akan berubah menjadi kerak berwarna kecoklatan. Sebelum masuk ke tahap pengaplikasian C-dots sebagai penyubur tanaman, dilakukan pengecekan untuk mengetahui adanya C-dots atau tidak. Pengecekan ini dilakukan dengan melakukan pengujian sederhana untuk melihat pendaran yang dihasilkan oleh sampel menggunakan senter UV.

3. Tahap pengaplikasian C-dots untuk penyubur tanaman

Pada pengujian ini, terdapat dua perbandingan yang dilakukan pada tanaman caisim yaitu tanaman caisim yang disiram dengan aquades saja dan tanaman caisim yang disiram dengan larutan C-dots yang dicampur aquades. Untuk membuat larutan C-dots dan Aquades, siapkan C-dots yang sudah di *microwave* dan menjadi kerak sebanyak 0,5 mg lalu kerak dicampurkan dengan aquades sebanyak 1 L. Sampel tanaman caisim dilakukan penyiraman setiap hari pada pagi dan sore hari selama 10 hari. Pada proses penyiraman ini, sampel masing-masing di siram dengan konsentrasi larutan yang sama yaitu 40 mL.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengujian dengan menggunakan senter laser UV

Setelah proses pembuatan sampel selesai maka dilanjutkan dengan pengujian sederhana untuk melihat pendaran yang dihasilkan. Sampel diuji dengan menggunakan senter laser UV. Senter laser UV tersebut akan diarahkan ke larutan sampel untuk mengetahui warna pendaran yang muncul pada sampel tersebut. Pendaran tersebut yang menjadi ciri bahwa dalam sampel tersebut mengandung C-dots.



Gambar 1. Sampel yang diuji menggunakan senter UV

Dari gambar diatas terlihat sampel mengalami pendaran setelah di sinari menggunakan senter UV. Saat C-dots berada dibawah cahaya senter UV, c-dots akan menunjukkan warna hijau sebagai emisi dari C-dots (Putro & Maddu, 2019).

2. Pengujian Pertumbuhan Tanaman Caisim dengan Larutan C-dots

C-dots berbahan dasar limbah kulit salak yang berhasil disintesis merupakan salah satu material yang memiliki potensi sebagai penyubur tanaman. Pada penelitian ini, C-dots yang sudah di microwave di ambil keraknya sebanyak 0,5 mg dan di campurkan dengan aquades sebanyak 1 liter. Larutan tersebut disiramkan kepada tumbuhan caisim selama 10 hari setiap pagi dan sore sebanyak 20 mL. Untuk mengetahui keberhasilan penelitian, dibuatkan juga tanaman caisim yang disiram dengan aquades saja sebagai perbandingan dengan larutan C-dots dengan waktu dan konsentrasi yang sama. Berikut merupakan hasil penyiraman tanaman caisim pada setiap harinya.

a. Hari pertama



(a)



(b)

Gambar 2. Pertumbuhan tanaman caisim pada hari ke-1 (a) Larutan Aquades 40 mL (b) Larutan C-dots 40 mL

Berdasarkan **Gambar 2**, pada hari ke-1 tanaman caisim yang disiram menggunakan larutan aquades dan larutan C-dots dengan masing-masing konsentrasi 40 ml terlihat bahwa keduanya belum mengalami pertumbuhan.

b. Hari kedua



(a)



(b)

Gambar 3. Pertumbuhan tanaman caisim pada hari ke-2 (a) Larutan Aquades 40 mL (b) Larutan C-dots 40 mL

Berdasarkan **Gambar 3**, pada hari ke-2 tanaman caisim yang disiram menggunakan larutan aquades dan larutan C-dots dengan masing-masing konsentrasi 40 ml terlihat bahwa keduanya belum mengalami pertumbuhan.

c. Hari ketiga



(a)



(b)

Gambar 4. Pertumbuhan tanaman caisim pada hari ke-3 (a) Larutan Aquades 40 mL (b) Larutan C-dots 40 mL

Berdasarkan **Gambar 4**, pada hari ke-3 tanaman caisim yang disiram menggunakan larutan aquades dan larutan C-dots dengan masing-masing konsentrasi 40 ml terlihat bahwa pada gambar (a) yaitu Larutan aquades mengalami pertumbuhan berupa tunas (0,2 cm).

d. Hari keempat



(a)



(b)

Gambar 5. Pertumbuhan tanaman caisim pada hari ke-4 (a) Larutan Aquades 40 mL (b) Larutan C-dots 40 mL

Berdasarkan **Gambar 5**, pada hari ke-4 tanaman caisim yang disiram menggunakan larutan aquades dan larutan C-dots dengan masing-masing konsentrasi 40 ml terlihat bahwa pada gambar (a) yaitu Larutan aquades mengalami pertumbuhan 0,5 cm dan pada gambar (b) yaitu Larutan C-dots mengalami pertumbuhan berupa tunas (0,2 cm).

e. Hari kelima



Gambar 6. Pertumbuhan tanaman caisim pada hari ke-5 (a) Larutan Aquades 40 mL (b) Larutan C-dots 40 mL

Berdasarkan **Gambar 6**, pada hari ke-5 tanaman caisim yang disiram menggunakan larutan aquades dan larutan C-dots dengan masing-masing 16 konsentrasi 40 ml terlihat bahwa pada gambar (a) yaitu Larutan aquades mengalami pertumbuhan 1 cm dan pada gambar (b) yaitu Larutan C-dots mengalami pertumbuhan 0,7 cm.

f. Hari keenam



Gambar 7. Pertumbuhan tanaman caisim pada hari ke-6 (a) Larutan Aquades 40 mL (b) Larutan C-dots 40 mL

Berdasarkan **Gambar 7**, pada hari ke-6 tanaman caisim yang disiram menggunakan larutan aquades dan larutan C-dots dengan masing-masing konsentrasi 40 ml terlihat bahwa pada gambar (a) yaitu Larutan aquades mengalami pertumbuhan 2,2 cm dan pada gambar (b) yaitu Larutan C-dots mengalami pertumbuhan 1,8 cm.

g. Hari ketujuh

Berdasarkan **Gambar 8**, pada hari ke-7 tanaman caisim yang disiram menggunakan larutan aquades dan larutan C-dots dengan masing-masing konsentrasi 40 ml terlihat bahwa pada gambar (a) yaitu Larutan aquades mengalami pertumbuhan 3,1 cm dan pada gambar (b) yaitu Larutan C-dots

mengalami pertumbuhan 2,9 cm.



(a)



(b)

Gambar 8. Pertumbuhan tanaman caisim pada hari ke-7 (a) Larutan Aquades 40 mL (b) Larutan C-dots 40 mL

h. Hari kedelapan



(a)



(b)

Gambar 9. Pertumbuhan tanaman caisim pada hari ke-8 (a) Larutan Aquades 40 mL (b) Larutan C-dots 40 mL

Berdasarkan **Gambar 9**, pada hari ke-8 tanaman caisim yang disiram menggunakan larutan aquades dan larutan C-dots dengan masing-masing konsentrasi 40 ml terlihat bahwa pada gambar (a) yaitu Larutan aquades mengalami pertumbuhan 3,4 cm dan pada gambar (b) yaitu Larutan C-dots mengalami pertumbuhan 3 cm.

i. Hari kesembilan

(a)



(b)



Gambar 10. Pertumbuhan tanaman caisim pada hari ke-9 (a) Larutan Aquades 40 mL (b) Larutan C-dots 40 mL

Berdasarkan **Gambar 10**, pada hari ke-9 tanaman caisim yang disiram menggunakan larutan aquades dan larutan C-dots dengan masing-masing konsentrasi 40 ml terlihat bahwa pada gambar (a) yaitu Larutan aquades mengalami pertumbuhan 3,7 cm dan pada gambar (b) yaitu Larutan C-dots mengalami pertumbuhan 3,2 cm.

j. Hari kesepuluh



Gambar 11. Pertumbuhan tanaman caisim pada hari ke-10 (a) Larutan Aquades 40 mL (b) Larutan C-dots 40 mL

Berdasarkan **Gambar 11**, pada hari ke-10 tanaman caisim yang disiram menggunakan larutan aquades dan larutan C-dots dengan masing-masing konsentrasi 40 ml terlihat bahwa pada gambar (a) yaitu Larutan aquades mengalami pertumbuhan 3,9 cm dan pada gambar (b) yaitu Larutan C-dots mengalami pertumbuhan 3,5 cm.

Dalam beberapa dekade terakhir, nanomaterial telah dikembangkan dan diaplikasikan dalam bidang pertanian. Carbon dots telah banyak diaplikasikan dalam bidang pertanian karena menunjukkan toksisitas lingkungan yang jauh lebih rendah dan biokompabilitas yang lebih tinggi dikarenakan tulang punggung karbonnya yang tidak beracun. Carbon dots memiliki keunggulan untuk beberapa proses fisiologis tanaman, termasuk pertumbuhan, fotosintesis dan ketahanan terhadap stress abiotik/biotik (Y. Li et al., 2020). Qu et al., (2012) telah melaporkan biokompabilitas C-dots yang menggunakan taugse sebagai objek penelitiannya. Pada penelitian tersebut C-dots yang dibuat dari asam sitrat dan urea menunjukkan tidak beracun lagi bagi tanaman taugse. Ditemukan juga bahwa C-dots tidak memberikan tidak memberikan toksisitas yang jelas pada sel hidup dan pertumbuhan kecambah (Bourke et al., 2022).

Berikut merupakan tabel perbandingan pertumbuhan harian tanaman caisim.

Tabel 1. Perbandingan pertumbuhan harian tanaman caisim

Hari	Pertumbuhan Tanaman	
	Larutan Aquades	Larutan C-dots
1	-	-
2	-	-
3	0,2 cm	-
4	0,5 cm	0,2 cm
5	1 cm	0,7 cm
6	2,2 cm	1,8 cm
7	3,1 cm	2,9 cm
8	3,4 cm	3 cm
9	3,7 cm	3,2 cm

Data pertumbuhan tanaman caisim menunjukkan bahwa tanaman yang disiram dengan larutan aquades memiliki pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan dengan

tanaman yang disiram menggunakan larutan C-dots. Pada hari ke-10, total pertumbuhan tanaman yang disiram dengan larutan aquades mencapai 3,9 cm, sedangkan total pertumbuhan tanaman yang disiram dengan larutan C-dots hanya mencapai 3,5 cm. Selisih total pertumbuhan antara kedua perlakuan ini adalah 0,4 cm, di mana tanaman dengan larutan aquades tumbuh 11,4% lebih cepat dibandingkan dengan larutan C-dots. Hasil penelitian ini belum sesuai dengan penelitian sebelumnya dikarenakan banyak faktor seperti alat pengukuran yang kurang mendukung.

Berdasarkan analisis ini, larutan aquades tampaknya lebih mendukung pertumbuhan tanaman caisim dibandingkan larutan C-dots pada konsentrasi 40 ml yang digunakan dalam penelitian ini. Kemungkinan penyebab pertumbuhan yang lebih lambat pada tanaman dengan larutan C-dots adalah konsentrasi nanopartikel karbon yang belum optimal untuk merangsang pertumbuhan tanaman secara signifikan. Partikel karbon dalam larutan C-dots mungkin tidak memberikan pengaruh positif yang cukup terhadap tanaman dalam durasi penelitian yang terbatas, atau ada faktor lain seperti kandungan nutrisi yang tidak sesuai dengan kebutuhan tanaman.

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mensintesis nanomaterial Carbon Dots (C-dots) dari limbah kulit salak menggunakan metode iradiasi gelombang mikro (*microwave*), yang merupakan teknik ramah lingkungan, cepat, dan sederhana. Karakterisasi awal menunjukkan bahwa C-dots memiliki sifat fluoresensi yang khas ketika diuji dengan sinar laser UV, menandakan keberadaan partikel karbon dengan sifat optik yang baik. Dalam pengujian terhadap pertumbuhan tanaman caisim, larutan C-dots mampu mendukung pertumbuhan, tetapi tingkat pertumbuhan tanaman yang disiram dengan larutan C-dots lebih rendah dibandingkan tanaman yang disiram dengan larutan aquades. Pada akhir pengamatan, tanaman dengan larutan aquades menunjukkan total pertumbuhan sebesar 3,9 cm, sedangkan tanaman dengan larutan C-dots mencapai 3,5 cm. Selisih ini menunjukkan bahwa larutan aquades lebih efektif pada kondisi penelitian ini. Hasil ini dapat disebabkan oleh konsentrasi larutan C-dots yang belum optimal untuk merangsang pertumbuhan tanaman secara signifikan, serta kemungkinan bahwa kandungan nutrisi dalam larutan tersebut tidak sepenuhnya sesuai dengan kebutuhan tanaman caisim. Struktur C-dots yang dihasilkan kemungkinan masih bercampur dengan senyawa organik lain dari bahan lain sehingga dibutuhkan tahap pemurnian lanjutan seperti sentrifugasi. Meskipun demikian, potensi C-dots sebagai agen pendukung pertumbuhan tanaman tetap menjanjikan, terutama jika formulasi dan aplikasinya dapat dioptimalkan lebih lanjut.

Untuk mengoptimalkan penggunaan C-dots dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman, diperlukan penelitian lanjutan dengan variasi konsentrasi C-dots untuk menentukan dosis yang paling efektif. Selain itu, perpanjangan durasi pengamatan dapat membantu memahami efek jangka panjang dari larutan C-dots terhadap pertumbuhan tanaman. Pengujian tambahan yang menganalisis kandungan kimia larutan C-dots juga penting dilakukan untuk memastikan adanya unsur atau sifat yang secara langsung dapat mendukung proses pertumbuhan, seperti peningkatan fotosintesis, stimulasi aktivitas enzim, atau

penyerapan nutrisi yang lebih efisien. Dengan demikian, penelitian ini memberikan dasar untuk eksplorasi lebih lanjut tentang potensi penggunaan C-dots dalam bidang pertanian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan selama proses penelitian ini berlangsung, khususnya kepada Laboratorium Pendidikan Fisika Universitas Sultan Ageng Tirtayasa atas fasilitas dan peralatan yang diberikan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing dan rekan-rekan mahasiswa yang telah membantu dalam proses sintesis dan pengamatan tanaman. Penelitian ini tidak akan terlaksana tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, M. P., Sholikhah, L., Silmi, F. I., Permatasari, H. A., Rahmawati, I., Priyanto, A., & Nuryadin, B. W. (2020). Carbon dots from dragonfruit peels as growth-enhancer on ipomoea aquatica vegetable cultivation. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 11(3), 35005. <https://doi.org/10.1088/2043-6254/ab9d15>
- Bourke, S., Urbano, L., Midson, M. M., Olona, A., Qazi-Choudhry, B., Panamarova, M., Valderrama, F., Long, N. J., Dailey, L. A., & Green, M. (2022). Nearly monodispersed, emission-tuneable conjugated polymer nanoparticles. *Sensors and Diagnostics*, 1(6), 1185–1188. <https://doi.org/10.1039/d2sd00164k>
- Chakravarty, D., Erande, M. B., & Late, J. (2015). Graphene Quantum dots as Enhanced Plant Growth Regulators: Effects on Coriander and Garlic plant. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(13), 2772–2778. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7106>
- Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (4th ed.). SAGE Publications.
- Fauziah, A. A. (2024). *Green Synthesis Carbon Dots dari Limbah Kulit Salak menggunakan Metode Bottom-Up* [Sultan Ageng Tirtayasa]. <https://eprints.untirta.ac.id/view/year/2024.default.html>
- Guirguis, A., Yang, W., Conlan, X. A., Kong, L., Cahill, D. M., & Wang, Y. (2023). Boosting Plant Photosynthesis with Carbon Dots: A Critical Review of Performance and Prospects. *Small*, 19(43). <https://doi.org/10.1002/sml.202300671>
- Hartati, T. M., & Rachman, I. A. (2022). Pengaruh Pemberian Pupuk Kandang Kambing terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Caisim (*Brassica campestris*) di Inceptisol. *Agro Bali: Agricultural Journal*, 5(1), 92–101. <https://doi.org/10.37637/ab.v5i1.875>
- Li, H., Huang, J., Lu, F., Liu, Y., Song, Y., Sun, Y., Zhong, J., Huang, H., Wang, Y., Li, S., Lifshitz, Y., Lee, S. T., & Kang, Z. (2018). Impacts of carbon dots on rice plants: Boosting the growth and improving the disease resistance. *ACS Applied Bio Materials*, 1(3), 663–672. <https://doi.org/10.1021/acsabm.8b00345>
- Li, S. (2024). Carbon dots in biomedicine: From synthesis to application. *Applied and Computational Engineering*, 89(1), 52–57. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/89/20241042>

- Li, Y., Xu, X., Wu, Y., Zhuang, J., Zhang, X., Zhang, H., Lei, B., Hu, C., & Liu, Y. (2020). A review on the effects of carbon dots in plant systems. *Materials Chemistry Frontiers*, 4(2), 437–448. <https://doi.org/10.1039/c9qm00614a>
- Lowry, G. V., Avellan, A., & Gilbertson, L. M. (2019). Opportunities and challenges for nanotechnology in the agri-tech revolution. *Nature Nanotechnology*, 14(6), 517–522. <https://doi.org/10.1038/s41565-019-0461-7>
- M. Sholihah, S., Suryani, S., & Zulfania, C. (2022). Penggunaan Pupuk Organik Cair (POC) pada Budidaya Tanaman Caisim (*Brassica Juncea* L.). *Jurnal Ilmiah Respati*, 13(1), 53–63. <https://doi.org/10.52643/jir.v13i1.2256>
- Manoj, & Chauhan, D. S. (2024). Role of carbon dots and their applications in agriculture. *ShodhKosh: Journal of Visual and Performing Arts*, 5(5), 1047–1053. <https://doi.org/10.29121/shodhkosh.v5.i5.2024.268>
- Metaxas, A. C., & Meredith, R. J. (1983). *Industrial Microwave Heating*. Peter Peregrinus Ltd.
- Nurfathiya, N. (2018). Sintesis Karbon Dot Berbahan Dasar Limbah Organik Sebagai Sensor Pendeteksi Ion Logam Berat. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 1–82.
- Putro, P. A., & Maddu, A. (2019). Sifat Optik Carbon Dots (C-Dots) Dari Daun Bambu Hasil Sintesis Hijau Berbantuan Gelombang Mikro. *Wahana Fisika*, 4(1), 47. <https://doi.org/10.17509/wafi.v4i1.15569>
- Qothrunnada. (2024). *Sintesis dan Karakterisasi Nanomaterials Carbon Dots dari Ekstrak Kulit Pare dengan Teknik Iradiasi Gelombang Mikro* [Sultan Ageng Tirtayasa]. <https://eprints.untirta.ac.id/id/eprint/36227>
- Qu, S., Wang, X., Lu, Q., Liu, X., & Wang, L. (2012). A biocompatible fluorescent ink based on water-soluble luminescent carbon nanodots. *Angewandte Chemie - International Edition*, 51(49), 12215–12218. <https://doi.org/10.1002/anie.201206791>
- Saxena, M., Maity, S., & Sarkar, S. (2014). Carbon nanoparticles in “biochar” boost wheat (*Triticum aestivum*) plant growth. *RSC Advances*, 4(75), 39948–39954. <https://doi.org/10.1039/c4ra06535b>
- Sholihah, N., & Tarmidzi, F. M. (2022). Diversifikasi dan Optimalisasi Pengolahan Kulit Salak melalui Perlakuan Suhu dan Durasi Penyeduhan. *JSHP: Jurnal Sosial Humaniora Dan Pendidikan*, 6(2), 190–197. <https://doi.org/10.32487/jshp.v6i2.1390>
- Thostenson, E. T., & Chou, T.-W. (1999). Microwave processing: fundamentals and applications. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 30(9), 1055–1071. [https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(99\)00020-2](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(99)00020-2)
- Wang, H., Zhang, M., Song, Y., Li, H., Huang, H., Shao, M., Liu, Y., & Kang, Z. (2018). Carbon dots promote the growth and photosynthesis of mung bean sprouts. *Carbon*, 136, 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.04.051>
- Zia, M. U., Sambasivam, P. T., Chen, D., Bhuiyan, S. A., Ford, R., & Li, Q. (2024). A carbon dot toolbox for managing biotic and abiotic stresses in crop production systems. *EcoMat*, 6(5), 1–26. <https://doi.org/10.1002/eom2.12451>