

Green Synthesis Carbon Dots Limbah Kulit Alpukat Untuk Optimasi Pertumbuhan Tanaman

Zahra Rahmadanti^{1*}, Rahmat Firman Septiyanto¹, Devi Ayu Nuraini¹, Isriyanti Affifah², Rika Rahmawati¹, Febri Sahara¹, Aden Yusril Sasmita¹

¹Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

²Jurusan Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

ARTICLE INFO

Riwayat Artikel:

Draft diterima: 4 Februari 2025

Revisi diterima: 23 April 2025

Diterima: 28 April 2025

Tersedia Online: 02 Mei 2025

Corresponding author:

zahraahmadanti43@gmail.com

ABSTRAK

Green synthesis carbon dots (C-dots) dari limbah kulit buah menawarkan solusi ramah lingkungan dalam bidang pertanian. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengevaluasi efektivitas C-dots dari kulit alpukat dan pepaya dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman caisim dan cabai. Karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis mengonfirmasi keberadaan C-dots dengan puncak absorbansi 284 nm pada kulit pepaya dan 234-400 nm pada kulit alpukat. Hasil uji pertumbuhan menunjukkan bahwa caisim yang disiram C-dots mengalami pertumbuhan lebih cepat dibandingkan kontrol, dengan tunas muncul dalam dua hari dan pertumbuhan mencapai 2,1 cm dalam sepuluh hari. Sebaliknya, tanaman cabai mengalami hambatan pertumbuhan, yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan. C-dots dari kulit alpukat terbukti lebih efektif dalam meningkatkan pertumbuhan caisim dibandingkan kulit pepaya. Temuan ini menunjukkan potensi pemanfaatan limbah organik sebagai bahan dasar teknologi hijau untuk meningkatkan produktivitas pertanian secara berkelanjutan.

Kata kunci: C-dots, limbah kulit buah, pertumbuhan tanaman, gelombang mikro, fotosintesis.

ABSTRACT

Green synthesis of carbon dots (C-dots) from fruit peel waste offers an environmentally friendly solution in agriculture. This study aims to synthesize and evaluate the effectiveness of C-dots from avocado and papaya peels in increasing the growth of caisim and chili plants. Characterization using a UV-Vis spectrophotometer confirmed the presence of C-dots with an absorbance peak of 284 nm on papaya skin and 234-400 nm on avocado skin. Growth test results showed that caisim treated with C-dots experienced faster growth than the control, with shoots appearing in two days and growth reaching 2.1 cm in ten days. In contrast, chili pepper plants experienced growth inhibition, which was influenced by environmental factors. C-dots from avocado peels proved to be more effective in increasing the growth of caisim than papaya peels. This finding shows the potential of utilizing organic waste as a base material for green technology to increase agricultural productivity in a sustainable manner.

Keywords: C-dots, fruit peel waste, plant growth, microwaves, photosynthesis.

1. PENDAHULUAN

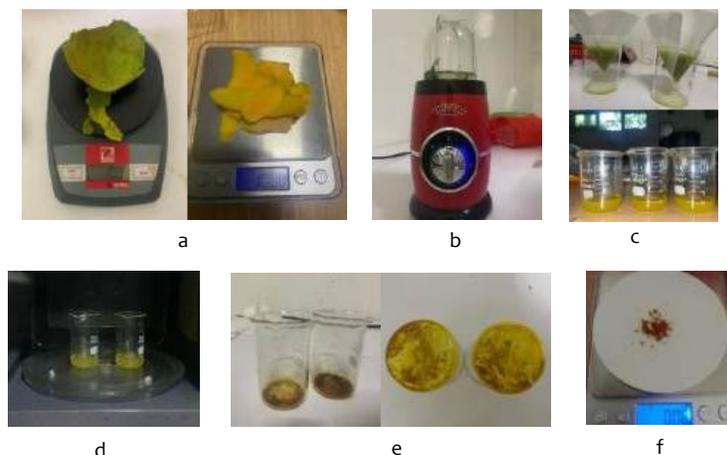
Green synthesis carbon dots (C-dots) telah menarik minat ilmiah karena metodologinya yang ramah lingkungan dan penerapannya di berbagai bidang seperti pertanian, katalisis, penginderaan, biomedis, pencitraan seluler, deteksi logam, dan bioimaging[1]. C-dots adalah bahan nano karbon nol dimensi[2] dengan diameter 10 nm. Bahan ini bersifat hidrofilik, tidak beracun, larut dalam air, menunjukkan biokompatibilitas yang baik, dan pendaran cahaya yang khas[3]. Beberapa metode untuk memproduksi C-dots telah dikembangkan dalam beberapa tahun terakhir. Salah satunya adalah pendekatan gelombang mikro, yang dapat menciptakan ukuran partikel dan komponen yang lebih homogen dan teregulasi daripada metode lain sekaligus mengurangi waktu dan biaya produksi[4].

Pertumbuhan dan hasil panen dapat ditingkatkan di bidang pertanian dengan menerapkan C-dots. Penelitian telah menunjukkan bahwa C-dots dapat berfungsi sebagai pembawa nutrisi, meningkatkan efisiensi fotosintesis, meningkatkan produksi tanaman, mempercepat perkecambahan biji, meningkatkan kesehatan tanaman, meningkatkan penyerapan air, dan mengurangi tekanan biotik dan abiotik pada tanaman[5]. Sementara C-dots yang didoping nitrogen[6], asam sitrat dan etanolamin[7] terbukti meningkatkan fotosintesis pada tanaman jagung, selada, dan padi. C-dots yang berasal dari kelopak kembang sepatu dapat digunakan sebagai pendeteksi pestisida yang efisien pada daun perilla[8].

Secara umum, limbah hayati lebih sering digunakan karena lebih ekonomis, mudah didapat, dan ramah lingkungan daripada senyawa organik murni yang tinggi karbon. Salah satu sumber hayati yang memungkinkan untuk produksi C-dots adalah limbah kulit alpukat dan kulit pepaya. Tanin, flavonoid, alkaloid[9], glukosida, saponin, glukosinolat, dan sianogen[10] diketahui terdapat pada kulit alpukat. Sementara pada kulit pepaya ditemukan enzim papain, saponin, glukosida, sukrosa, dextrosa, flavonoid, dan alkaloid karpina[11]. Protein dan karbohidrat yang berasal dari kulit buah diyakini dapat berperan sebagai prekursor pembuatan C-dots[2]. Melalui peningkatan efisiensi penyerapan nutrisi, percepatan proses fotosintesis, serta penguatan ketahanan tanaman terhadap kondisi lingkungan yang kurang ideal, *green synthesis* C-dots dari limbah kulit hayati berpotensi mengoptimalkan pertumbuhan tanaman caisim dan cabai. Pendekatan ini juga menawarkan solusi pengolahan limbah yang sejalan dengan peningkatan produktivitas pertanian. Meskipun penggunaan C-dots berbasis limbah hayati dalam bidang pertanian telah banyak diteliti, studi yang secara khusus menggunakan kulit alpukat dan pepaya sebagai sumber karbon masih terbatas. Selain itu, aplikasinya terhadap pertumbuhan caisim dan cabai, yang bernilai ekonomi tinggi dan sensitif terhadap kondisi lingkungan, belum banyak diteliti. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengembangkan metode *green synthesis* C-dots dari limbah kulit buah dan mengevaluasi efektivitasnya terhadap pertumbuhan tanaman caisim dan cabai sebagai tanaman model.

2. METODE PENELITIAN

Bahan dasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah kulit buah alpukat dan pepaya, benih tanaman caisim dan cabai yang diperoleh dari pasar lokal Serang, Banten, Indonesia. Prosedur *green synthesis* dilakukan dalam kondisi suhu dan pencahayaan alami melalui beberapa tahap seperti yang tertera pada gambar 1. Masing-masing kulit buah ditimbang dengan massa sebesar 10 gram kemudian dicuci air mengalir lalu disterilkan dengan aquades. Aquades dipilih untuk mensterilisasi kulit buah dikarenakan sifatnya yang netral dan tidak merusak jaringan tanaman atau sampel biologis. Kulit buah dengan 100 ml aquades dihaluskan menggunakan blender selama 3 menit dan dipisahkan antara larutan dengan ampasnya menggunakan filter kopi berdiameter 14,5 cm dengan ukuran pori 20-100 μm (150-500 mesh) sebanyak 20 ml. Larutan dimasukkan ke dalam *microwave* dengan daya 800 watt menggunakan metode pemanas selama 8 menit untuk kulit alpukat dan 5 menit untuk kulit pepaya hingga terbentuk kerak, proses ini dinamakan dengan karbonisasi.



Gambar 1. Proses *Green synthesis* C-dots (a) preparasi kulit limbah hayati (b) penghalusan kulit limbah hayati (c) ekstraksi kulit limbah hayati (d) proses karbonisasi menggunakan *microwave* (e) c-dots kulit limbah hayati (f) variasi konsentrasi c-dots.

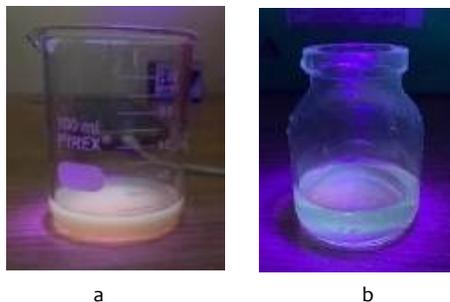
Tiga variasi konsentrasi C-dots dengan label So (kontrol/aquades murni), S1 (0,6 g/L C-dots), dan S2 (0,4 g/L C-dots) digunakan untuk optimasi pertumbuhan tanaman dengan perlakuan yang sama. Untuk mendapatkan benih dengan kualitas terbaik

perendaman dilakukan selama 6 jam di dalam air. Tanah asli tanpa pupuk, yang diperoleh dari lahan pertanian terdekat, digunakan sebagai media tanaman. Setiap variasi konsentrasi terdiri dari enam benih yang ditanam pada kedalaman satu sentimeter dari permukaan tanah. Selama dua hari awal, sampel disimpan di ruang tertutup tanpa paparan sinar matahari. Penyiraman dilakukan dua kali sehari, yaitu pada pukul 06.00 dan 17.00 WIB, dengan menggunakan 40 ml larutan dari masing-masing variasi konsentrasi. Sebelum digunakan, setiap larutan harus dikocok dengan seksama untuk mencegah pengendapan C-dots. Pengamatan dan pengukuran tinggi tanaman dilakukan pada sore hari dalam kurun waktu 10 hari.

Untuk mengetahui keberadaan C-dots dilakukan proses karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan kajian pada beberapa artikel pendukung. Spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk mengukur absorbansi pada panjang gelombang 245-800 nm[12] yang bekerja berdasarkan hukum Lambert-Beer dimana intensitas cahaya monokromatis yang ditransmisikan sebanding dengan tebal dan kepekaan media larutan yang digunakan ketika cahaya monokromatis dilewatkan melalui suatu media yang transparan[13]. Sampel yang akan diuji diambil dari variasi konsentrasi dengan label S1 sebanyak 20 ml. Pengujian ini dilakukan di BRIN (Badan Riset dan Inovasi Nasional) Serpong, Tangerang Selatan.

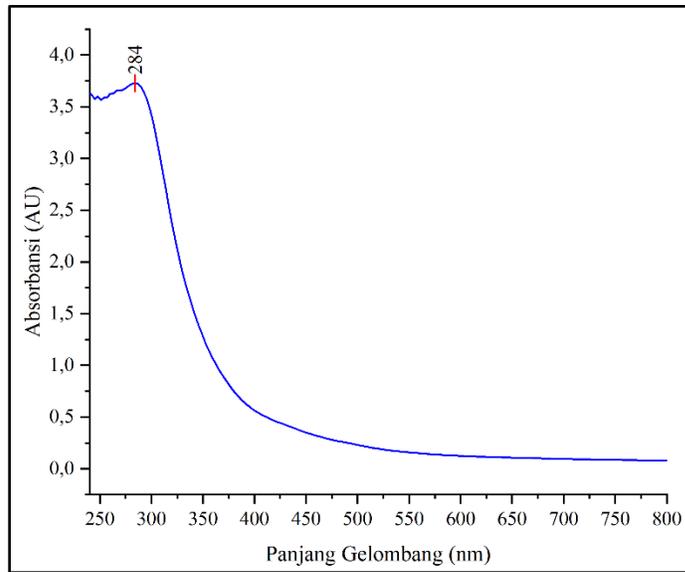
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Salah satu ciri utama *carbon dots* adalah memiliki sifat optik dimana C-dots dapat berpendar atau berfluoresensi dengan memancarkan warna tertentu[14] yang dapat dilihat dengan pengamatan sederhana menggunakan senter UV. Senter UV bekerja berdasarkan prinsip emisi cahaya ultraviolet yang biasanya memiliki panjang gelombang 365 nm. Pada *green synthesis* kulit buah alpukat dihasilkan fluoresensi berupa pendaran yang berwarna hijau berpijar, sementara pada kulit buah pepaya pendaran yang dihasilkan berwarna biru kehijauan (*cyan*) seperti ditunjukkan pada gambar 2. Ketika disinari dengan senter UV, emisi fluoresensi atau pendaran C-dots yang dihasilkan berada diantara warna biru dan hijau[15] sehingga hal ini menandakan adanya kandungan C-dots di kedua kulit buah tersebut.



Gambar 2. Pendaran pada C-dots saat ditembakkan senter UV (a) C-dots kulit alpukat (b) C-dots kulit pepaya

Sebagian besar, pita absorpsi C-dots berkisar antara 260-320 nm dengan penyerapan optik yang terjadi di wilayah ultraviolet, terutama ultraviolet dekat. Faktor utama yang menyebabkan puncak penyerapan optik adalah transisi elektron dari π ke π^* dari ikatan C=O dan transisi elektron dari dua cincin benzena rangkap atau C=C[2]. Hasil spektrofotometer UV-Vis menunjukkan bahwa terdapat C-dots dalam kulit pepaya dan kulit alpukat. Transfer elektron dari struktur nanokarbon, menghasilkan transisi π - π^* yang biasanya terjadi pada molekul hidrokarbon tak jenuh atau molekul dengan ikatan rangkap[4], ditemukan dalam C-dots kulit pepaya dengan menunjukkan puncak serapan maksimum pada panjang gelombang 284 nm dan nilai absorbansi 3,73 seperti yang diilustrasikan pada gambar 3. Sementara itu, pada C-dots kulit buah alpukat, puncak absorbansi tersebar secara luas pada rentang panjang gelombang 234-400 nm. Ketidakterlihatan puncak tajam pada rentang 250-350 nm mengindikasikan adanya ketidakteraturan ukuran partikel, yang merupakan ciri umum dalam sintesis berbasis limbah biologis[16]. Meskipun distribusi ukuran partikel yang tidak seragam dapat memengaruhi karakteristik optik, kondisi ini masih dapat diterima untuk aplikasi pertanian. Dalam konteks ini, fungsi utama C-dots adalah sebagai agen peningkat pertumbuhan tanaman, dan variasi ukuran partikel tidak secara signifikan menghambat efisiensinya dalam meningkatkan penyerapan cahaya, aktivitas fotosintetik, atau interaksi dengan jaringan tanaman[17]. Namun demikian, analisis ukuran partikel C-dots tidak dilakukan dalam penelitian ini. Untuk mendukung pemahaman yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara ukuran partikel, sifat optik dan efektivitas biologisnya, disarankan agar penelitian selanjutnya melibatkan karakterisasi lanjutan seperti analisis ukuran menggunakan DLS (Dynamic Light Scattering) atau TEM (Transmission Electron Microscopy).



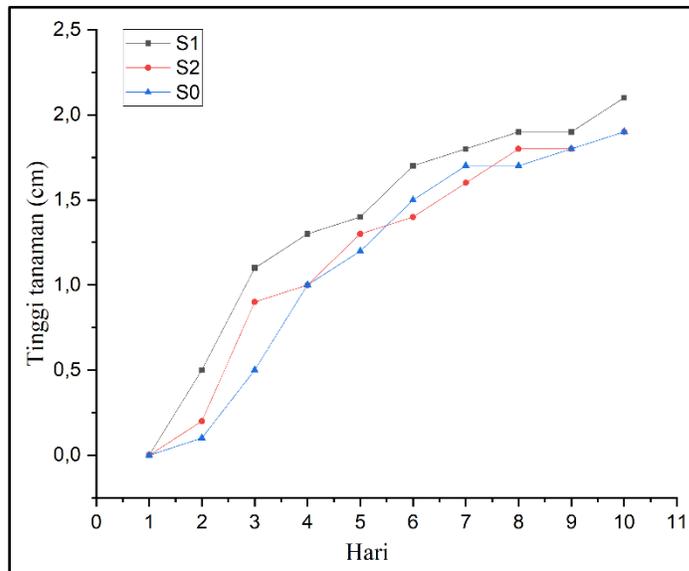
Gambar 3. Grafik absorptansi C-dots kulit buah pepaya variasi konsentrasi S1 (0,6 g/L C-dots)

Carbon dots merupakan material nano dengan sifat optik dan bioaktif yang berpotensi meningkatkan efisiensi proses biologis pada tanaman, terutama penyerapan cahaya dan aktivitas metabolisme. Benih caisim biasanya mulai tumbuh dalam 3-4 hari, dan tanaman siap dipanen setelah 6 minggu. Namun, dengan menyirami C-dots kulit buah alpukat, seperti grafik pada Gambar 4, tanaman dapat menghasilkan tunas baru hanya dalam waktu dua hari. Sementara itu, umumnya benih cabai mulai bertunas dalam 3-9 hari bergantung pada kondisi lingkungan, varietas dan perawatannya. Berdasarkan penelitian, tanaman cabai justru mengalami penghambatan pertumbuhan baik pada variasi kontrol maupun ketika menggunakan C-dots. Seperti terlihat pada Gambar 5, pada hari kesepuluh tanaman cabai hanya menumbuhkan akar tanpa tunas sepanjang 1 cm pada variasi kontrol (S₀) dan 2-3 cm pada variasi S₁. Penelitian ini dilakukan pada bulan September-Oktober yang didasarkan dari proyeksi cuaca mingguan BMKG[18], dimana pada musim pancaroba terjadi perubahan iklim yang mempengaruhi suhu, curah hujan, dan kelembaban udara, sehingga pertumbuhan tanaman cabai menjadi kurang optimal[19].

Perbedaan respon ini dapat dijelaskan melalui karakteristik fisiologi masing-masing tanaman. Caisim, sebagai tanaman berumur pendek dengan siklus hidup cepat, cenderung lebih responsif terhadap perubahan lingkungan dan paparan mikro-agen seperti C-dots. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa konsentrasi larutan nutrisi memiliki dampak signifikan terhadap pertumbuhan caisim (*Brassica rapa*), yang mengindikasikan sensitivitas tinggi terhadap kondisi lingkungan[20]. Sebaliknya, cabai merupakan tanaman berumur panjang dengan kebutuhan lingkungan yang lebih stabil dan toleransi lebih rendah terhadap stres iklim[21], sehingga efek dari C-dots tidak langsung tampak secara signifikan. Oleh karena itu, optimasi pertumbuhan tanaman caisim menggunakan C-dots limbah kulit alpukat dijadikan sebagai fokus utama dari pembahasan artikel ini.

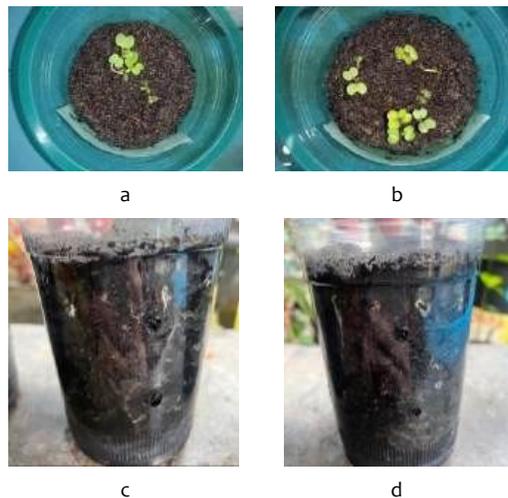
Menurut penelitian sebelumnya, C-dots dapat memperpanjang akar dan tinggi tanaman kacang hijau[22] serta mendorong perkecambahan biji[23]. Proses fotosintesis, yang mengubah *nikotinamida adenin dinukleotida fosfat* (NADPH), karbon dioksida (CO₂), dan *adenosin trifosfat* (ATP) menjadi karbohidrat seperti glukosa dan RuBisCO, adalah pendorong utama pertumbuhan tanaman. Pemanfaatan C-dots pada tanaman dapat meningkatkan aktivitas RuBisCO, menciptakan analog hormon, dan menggunakan siklus fotosintesis Calvin untuk mengubah CO₂ menjadi karbohidrat, yang dapat meningkatkan efisiensi fotosintesis dan hasil pertanian[24].

Tanaman caisim yang diairi dengan C-dots tumbuh sedikit lebih cepat dalam penelitian ini. Pada hari kedua, C-dots dengan konsentrasi S₁ tumbuh 0,5 cm, jauh lebih banyak dibandingkan dengan pertumbuhan 0,1 cm dan 0,2 cm pada tanaman caisim tanpa C-dots dan konsentrasi S₂. Hingga hari kesepuluh, saat hasil pertumbuhan mencapai 2,1 cm, tanaman caisim dengan C-dots konsentrasi S₁ menunjukkan hasil pertumbuhan yang lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa efikasi pertumbuhan tanaman dipengaruhi oleh konsentrasi C-Dots. Meskipun demikian, penelitian ini belum menyertakan analisis statistik seperti ANOVA dan uji Tukey untuk menguji signifikansi antar perlakuan. Oleh karena itu, kesimpulan mengenai pengaruh konsentrasi C-dots terhadap pertumbuhan tanaman bersifat indikatif dan perlu divalidasi melalui penelitian lanjutan dengan pendekatan statistik yang lebih komprehensif.



Gambar 4. Pengukuran pertumbuhan tanaman caisim yang diamati selama 10 hari. S1 (0,6 g/L C-dots), S2 (0,4 g/L C-dots), dan S0 (kontrol/aquades murni)

Perkembangan benih tanaman dipengaruhi oleh kadar air benih. C-dots memiliki kemampuan untuk masuk ke dalam tanaman dan diserap secara bertahap dari akar, bergerak ke atas batang, dan berakhir di daun[24]. Pada C-dots, fluoresensi berfungsi sebagai zat yang membantu tanaman mempercepat fotosintesis[7] dengan cara mengubah sinar UV menjadi sinar biru. Selain itu, molekul air dapat masuk ke dalam biji tanaman melalui gugus hidrofilik (-OH dan -COOH) pada permukaan C-dots[24].



Gambar 5. Pertumbuhan tanaman caisim pada hari ke-10 (a) variasi kontrol C-dots kulit alpukat (b) konsentrasi S1 C-dots kulit alpukat (c) variasi kontrol C-dots kulit pepaya (d) konsentrasi S1 C-dots kulit pepaya.

Selain pertumbuhan tunas dan tinggi tanaman yang relatif lebih unggul, tanaman caisim yang disiram dengan C-dots juga memiliki jumlah pertumbuhan yang lebih tinggi yaitu 6 tunas dari 6 benih dengan 4 helai daun berwarna hijau kekuningan. Sementara, tanaman caisim tanpa C-dots hanya menghasilkan 3-4 tunas dari 6 benih dengan 2 helai daun yang berwarna hijau. Meskipun bahan nano karbon dapat meningkatkan perkembangan tanaman secara keseluruhan, nutrisi mineral yang berlebihan dapat membahayakan tanaman dan menghambat pertumbuhannya[25], membuat tanaman caisim memiliki bercak-bercak coklat dan dedaunan yang lebih gelap. Temuan ini menunjukkan bahwa C-dots yang terbuat dari kulit buah alpukat memiliki banyak harapan untuk mempromosikan pertanian berkelanjutan, terutama dalam hal penggunaan limbah organik sebagai bahan dasar teknologi hijau.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa *green synthesis carbon dots* (C-dots) dari limbah kulit alpukat dan pepaya memiliki potensi dalam meningkatkan efisiensi pertumbuhan tanaman, khususnya caisim. C-dots yang dihasilkan memiliki sifat fluoresensi yang membantu meningkatkan fotosintesis dan penyerapan air. Hasil karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis mengonfirmasi keberadaan C-dots, dengan panjang gelombang maksimum 284 nm pada kulit pepaya dan 234-400 nm pada kulit alpukat.

Percobaan pertumbuhan tanaman menunjukkan bahwa caisim yang disiram dengan C-dots berkonsentrasi 0,6 g/L (S1) mengalami pertumbuhan lebih cepat dibandingkan kontrol, dengan tunas yang muncul dalam dua hari dan pertumbuhan mencapai 2,1 cm dalam sepuluh hari. Selain itu, tanaman caisim yang diberi perlakuan C-dots menunjukkan jumlah tunas dan daun yang lebih banyak dibandingkan kontrol. Sementara itu, pertumbuhan tanaman cabai cenderung terhambat. Faktor lingkungan seperti perubahan suhu dan kelembaban selama musim pancaroba diperkirakan menjadi penyebab utama penghambatan pertumbuhan cabai.

Temuan ini menunjukkan bahwa C-dots dari limbah kulit alpukat lebih efektif dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman dibandingkan kulit pepaya. Teknologi ini berpotensi menjadi solusi ramah lingkungan dalam meningkatkan produktivitas pertanian sekaligus mengurangi limbah organik.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih atas dukungan oleh fasilitas riset, dan dukungan ilmiah serta teknis dari Laboratorium Karakterisasi Lanjut Fisika Serpong di Badan Riset dan Inovasi Nasional.

6. REFERENSI

- [1] R. Guerrero-Gonzalez, F. Vázquez-Dávila, E. Saucedo-Flores, R. Ruelas, O. Ceballos-Sánchez, and J. E. Pelayo, "Green approach synthesis of carbon quantum dots from agave bagasse and their use to boost seed germination and plant growth," *SN Appl. Sci.*, vol. 5, no. 8, 2023, doi: 10.1007/s42452-023-05428-2.
- [2] C. N. Rahmi, S. Sugiarti, and A. D. Yuliani, "Karbon dots (C-dots) dari Bahan Hayati untuk Deteksi Logam Berat 1," *ALCHEMY J. Penelit. Kim.*, vol. 19, no. 2, pp. 234–246, 2023, doi: 10.20961/alchemy.19.2.61881.234-246.
- [3] P. A. Putro, L. Roza, and Isnaeni, "KARAKTERISASI SIFAT OPTIK C-DOTS DARI KULIT LUAR SINGKONG MENGGUNAKAN TEKNIK MICROWAVE," *J. Teknol. TECHNOSCIENTIA*, vol. 11, no. 2, pp. 128–136, 2019.
- [4] M. Nazar and B. A. Gani, "Microwave Synthesis of Carbon Quantum Dots from Arabica Coffee Ground for Fluorescence Detection of Fe³, Pb², and Cr³⁺," no. April, 2024, doi: 10.1021/acsomega.4c02254.
- [5] D. Manoj and S. Chauhan, "Role of carbon dots and their applications in agriculture," *J. Vis. Perform. Arts*, vol. 5, pp. 1047–1053, 2024, doi: 10.29121/shodhkosh.v5.i5.2024.268.
- [6] C. Wang, H. Yang, F. Chen, L. Yue, Z. Wang, and B. Xing, "Nitrogen-Doped Carbon Dots Increased Light Conversion and Electron Supply to Improve the Corn Photosystem and Yield," *Environ. Sci. Technol. Rubisco*, 2021, doi: 10.1021/acs.est.1c01876.
- [7] Y. Li *et al.*, "Carbon dots as light converter for plant photosynthesis: Augmenting light coverage and quantum yield effect," *J. Hazard. Mater.*, vol. 410, p. 124534, 2021, doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124534.
- [8] T. Bhattacharya *et al.*, "L-Cysteine-Modified Carbon Dots Derived from Hibiscus rosa-sinensis for Thiram Pesticides Identification on Edible Perilla Leaves," *ACS Omega*, no. November, 2024, doi: 10.1021/acsomega.4c07090.
- [9] H. S. Kaempe, S. Komansilan, R. Rumondor, and H. P. Maliangkay, "Skining Fitokimia Ekstrak Kulit Buah Alpukat (Persea americana Mill) Sebagai Obat Tradisional," *Pharmacon*, vol. 12, no. 2, pp. 223–228, 2023.
- [10] Ernawati and K. Sari, "Chemical compound content and antibacterial activity of avocado (Persea americana P.Mill) peel extract on vibrio alginolyticus bacteria," *J. Kaji. Vet. Desember*, vol. 3, no. 2, pp. 203–211, 2015.
- [11] A. Buang *et al.*, "Uji Efektivitas Antibakteri Ekstrak Kulit Buah Pepaya (Carica Papaya L.) Terhadap Propioni bacterium acnes Ariani," *Maj. Farm. Nasinonal*, vol. 16, no. 01, 2019.
- [12] T. Suhartati, *DASAR-DASAR SPEKTROFOTOMETER UV-VIS DAN SPEKTROMETRI MASSA UNTUK PENENTUAN STRUKTUR SENYAWA ORGANIK*, 1st ed. Bandar Lampung: AURACV. Anugrah Utama Raharja, 2017.
- [13] Yanlinastuti and S. Fatimah, "PENGARUH KONSENTRASI PELARUT UNTUK MENENTUKAN PADUAN U-Zr DENGAN MENGGUNAKAN METODE SPEKTROFOTOMETRI UV-VIS," *Pus. Teknol. Bahan Bakar Nukl. Badan Tenaga Nukl. Nas.*, no. 17, pp. 22–33, 2016.
- [14] E. Pratidhina, M. Jurdan, P. A. Ermanto, J. Prabowo, J. B. V. Atmanjaya, and M. M. M. Bhoki, "Karakterisasi Carbon Nanodots Berbahan Dasar Limbah Ikan Tongkol," *J. Fis. Fis. Sains dan Apl.*, vol. 6, no. 2, pp. 118–122, 2021, doi: 10.35508/fisa.v6i2.6842.

- [15] E. K. Sari, D. Sekartaji, A. N. A. Rahmah, and W. S. B. Dwandaru, "Nanomaterial Carbon-Dots Berbahan Dasar Daun Sirih (Piper Betle L.) Sebagai Antibakteri Terhadap Bakteri S. Mutans dan E. Coli," *Positron*, vol. 10, no. 2, p. 26, 2020, doi: 10.26418/positron.v10i2.41731.
- [16] M. A. Amaral, R. K. Pingak, M. Bukit, and Z. S. Ngara, "Sintesis Karbon Nanodots Berbasis Kulit Alpukat Dengan Logam Besi," *J. Fis. (Fisika Sains dan Apl.*, vol. 9, no. 2, 2024.
- [17] R. W. Sulaindra and W. S. B. Dwandaru, "Sintesis Dan Karakterisasi Warna Pendaran Carbon Nanodots Berbahan," *J. Ilmu Fis. Dan Ter.*, vol. 09, no. 02, pp. 14–20, 2022.
- [18] R. Indra, "Prospek Cuaca Mingguan , Periode 27 September – 3 Oktober 2024 : Memasuki Masa Pancaroba , Siapkan Diri Hadapi Cuaca Ekstrem !," *Pusat Meteorologi Publik BMKG*, Jakarta, 2024.
- [19] N. E. Mustamu, B. A. Dalimunthe, S. Hartati, and Y. Saragih, "Aplikasi Pemberian Abu Sekam Padi dan Pupuk Organik Cair (POC) Terhadap Produksi Tanaman Cabai Merah (Capsicum annum L .)," *J. Mhs. Agroteknologi*, vol. 4, pp. 56–63, 2023.
- [20] D. Priadi and F. Nuro, "Seedling Production of Pak Choy (Brassica rapa L. var chinensis) using Organic and Inorganic Nutrients," *Biosaintifika J. Biol. Biol. Educ.*, vol. 9, no. 2, pp. 217–224, 2017, doi: 10.15294/biosaintifika.v9i2.8537.
- [21] W. Miao et al., "Comparative transcriptomics for pepper (Capsicum annum l.) under cold stress and after rewarming," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 21, 2021, doi: 10.3390/app112110204.
- [22] H. Wang et al., "Carbon dots promote the growth and photosynthesis of mung bean sprouts," *Carbon N. Y.*, vol. 136, pp. 94–102, 2018, doi: 10.1016/j.carbon.2018.04.051.
- [23] S. Y. Park et al., "Photoluminescent green carbon nanodots from food-waste-derived sources: Large-scale synthesis, properties, and biomedical applications," *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 6, no. 5, pp. 3365–3370, 2014, doi: 10.1021/am500159p.
- [24] H. Li et al., "Enhanced RuBisCO activity and promoted dicotyledons growth with degradable carbon dots," *Nano Res.*, vol. 12, no. 7, pp. 1585–1593, 2019, doi: 10.1007/s12274-019-2397-5.
- [25] M. Saxena, S. Maity, and S. Sarkar, "Carbon nanoparticles in 'biochar' boost wheat (Triticum aestivum) plant growth," *RSC Adv.*, vol. 4, no. 75, pp. 39948–39954, 2014, doi: 10.1039/c4ra06535b.