

PERTUMBUHAN BAYAM PADA BERBAGAI KOMBINASI BIOCHAR TEBU DAN PUPUK ORGANIK CAIR ECENG GONDOK

"SPINACH GROWTH UNDER VARIOUS COMBINATIONS OF SUGARCANE BIOCHAR AND WATER HYACINTH LIQUID ORGANIC FERTILIZER"

Nani Yulianti^{1,3a}, Melik Thiara Dikari², M Juhri Al-Karomah², Herdhata Agusta²,
Hariyadi², Risa Wentasari²

¹Prodi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Djuanda Bogor, Jl. Tol Ciawi No 1
Ciawi, Bogor 16720, Indonesia

²Program Studi Agronomi dan Hortikultura, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor
(Bogor Agricultural University), Jl. Meranti Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

³Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor (Bogor
Agricultural University), Jl. Meranti Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

^aKorespondensi: nani.yulianti@unida.ac.id

ABSTRACT

*Sugarcane bagasse (*Saccharum officinarum* L.) waste has the potential to be used as biochar through a pyrolysis process to improve soil quality and fertilizer efficiency. Meanwhile, water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), which has been considered an aquatic weed, contains macronutrients such as nitrogen, phosphorus, and potassium, as well as humic acid that can be processed into liquid organic fertilizer (POC). This study aims to examine the effect of a combination of sugarcane biochar and water hyacinth POC on the growth and yield of spinach (*Amaranthus* sp.) as an effort to develop environmentally friendly organic inputs. The study was conducted in Banjarwaru Village, Ciawi, Bogor Regency, using a completely randomized design (CRD) with two factors, namely sugarcane biochar (control, 1:5, and 1:10) and water hyacinth POC concentration (0, 100, 150, and 200 mL/L). The parameters observed included plant height, number of leaves, root length, total plant weight, crown weight, and root weight. The results showed that the combination of biochar and water hyacinth POC significantly affected plant height and number of leaves, but did not significantly affect biomass parameters such as total weight, crown, and roots. The 1:10 biochar ratio treatment produced the highest plant height (20.58 cm), while 200 mL/L POC tended to increase total plant weight. The implications of these results indicate that the use of sugarcane biochar and water hyacinth POC can be an alternative organic soil conditioner that has the potential to increase soil fertility and support sustainable agricultural systems, although optimal effectiveness requires the right application time and dosage.*

Keywords: *sugarcane biochar, liquid organic fertilizer, water hyacinth, *Amaranthus* sp., sustainable agriculture*

ABSTRAK

Limbah ampas tebu (*Saccharum officinarum* L.) berpotensi dimanfaatkan sebagai biochar melalui proses pirolisis untuk meningkatkan kualitas tanah dan efisiensi pemupukan. Sementara itu, eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), yang selama ini dianggap gulma perairan, mengandung unsur hara makro seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, serta asam humat yang

dapat diolah menjadi pupuk organik cair (POC). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh kombinasi biochar tebu dan POC eceng gondok terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman bayam (*Amaranthus sp.*) sebagai upaya pengembangan input organik ramah lingkungan. Penelitian dilaksanakan di Desa Banjarwaru, Ciawi, Kabupaten Bogor, menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan dua faktor, yaitu biochar tebu (kontrol, 1:5, dan 1:10) dan konsentrasi POC eceng gondok (0, 100, 150, dan 200 mL/L). Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, panjang akar, bobot total tanaman, bobot tajuk, dan bobot akar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi biochar dan POC eceng gondok berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman dan jumlah daun, namun tidak berpengaruh nyata terhadap parameter biomassa seperti bobot total, tajuk, dan akar. Perlakuan biochar rasio 1:10 menghasilkan tinggi tanaman tertinggi (20,58 cm), sedangkan POC 200 mL/L cenderung meningkatkan bobot total tanaman. Implikasi hasil ini menunjukkan bahwa pemanfaatan biochar tebu dan POC eceng gondok dapat menjadi alternatif bahan pembenah tanah organik yang berpotensi meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung sistem pertanian berkelanjutan, meskipun efektivitas optimalnya memerlukan waktu aplikasi dan dosis yang tepat.

Kata kunci: *biochar tebu, pupuk organik cair, eceng gondok, Amaranthus sp., pertanian berkelanjutan.*

PENDAHULUAN

Tebu (*Saccharum officinarum L.*) merupakan tanaman tropis penting yang dibudidayakan sebagai sumber utama gula dan bioenergi, serta dimanfaatkan sebagai bahan pangan dan bahan bakar alternatif. Sebagai salah satu komoditas perkebunan strategis dengan tingkat produksi terbesar di dunia, budidaya dan pengolahan tebu menjadi sumber mata pencaharian bagi sekitar 100 juta orang di berbagai negara (sumber pustaka diperlukan). Permintaan global terhadap tebu terus meningkat seiring dengan peningkatan konsumsi gula, terutama di kawasan Asia dan Afrika. Produktivitas tebu di Indonesia masih tertinggal dibandingkan dengan negara-negara produsen utama seperti Brasil, India, dan Tiongkok. Meskipun Indonesia menempati posisi ke-7 dalam hal luas panen tebu secara global, produksi nasional hanya berada di peringkat ke-13 dengan produktivitas sekitar 52 ton ha⁻¹ pada tahun 2018, lebih rendah dibandingkan negara produsen utama tersebut (Saputro & Rianti, 2023). Tebu dikenal memiliki ketahanan tinggi terhadap kondisi lingkungan ekstrem dan serangan hama penyakit karena kandungan silika yang cukup tinggi, yang memperkuat struktur dinding sel (Mamnuah et al., 2021).

Industri gula menghasilkan limbah padat berupa ampas tebu (bagas) dalam jumlah besar, yakni sekitar 32% dari berat tebu giling sebagai hasil samping ekstraksi nira. Ampas tebu merupakan biomassa lignoselulosa dengan komposisi utama selulosa, hemiselulosa (pentosan), dan lignin, serta ukuran serat sekitar 1,7–2 mm dengan diameter 20 µm. Secara fisik, bagas berwarna kekuningan, berserat lembut, tidak larut dalam air, dan memerlukan penanganan serta penyimpanan khusus agar tidak menurunkan kualitas. Selulosa sebagai komponen utama lignoselulosa juga banyak ditemukan pada tanaman berkayu, perdu, paku, lumut, ganggang, dan jamur (Bahri et al., 2021).

Limbah tebu memiliki potensi besar untuk diolah menjadi berbagai produk organik melalui proses biokonversi, antara lain bioetanol, pupuk organik, dan biochar (Wiraguna & Yunikawati, 2023). Pemanfaatan limbah ampas tebu sebagai bahan baku energi terbarukan menjadi salah satu alternatif yang menjanjikan di Indonesia (Sugiharto & Firdaus, 2021). Salah satu produk yang dapat dikembangkan dari limbah biomassa tebu adalah biochar.

Biochar merupakan bahan padat kaya karbon (C) yang dihasilkan melalui proses pirolisis biomassa pada suhu di bawah 700°C dalam kondisi terbatas oksigen. Secara fisik, biochar memiliki luas permukaan yang besar dengan dominasi pori mikro, memungkinkan daya serap air dan unsur hara yang tinggi. Sementara itu, secara kimia biochar memiliki gugus fungsional hidrofilik, hidrofobik, asam, dan basa yang memungkinkan interaksi dinamis dengan lingkungan tanah. Kandungan bahan organik (C-organik) tanah sangat berpengaruh terhadap kualitas kesuburan, namun lahan tebu di Indonesia umumnya memiliki kadar C-organik yang rendah hingga sangat rendah. Aplikasi biochar diketahui lebih efektif dalam meningkatkan kadar C-organik tanah dibandingkan bahan organik lainnya karena strukturnya yang stabil dan tahan terhadap degradasi mikroba, sehingga karbon dapat terikat lebih lama di dalam tanah (Hariyono, 2021). Selain itu, biochar berperan memperbaiki sifat fisik tanah, seperti struktur, porositas, agregasi, dan kapasitas penyimpanan air.

Secara kimia, biochar dapat meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK), memperbaiki retensi hara, dan mengurangi kehilangan unsur hara akibat pencucian. Biochar juga berfungsi dalam bioremediasi kontaminan logam berat dan pestisida, serta mendukung pertumbuhan mikroorganisme di rizosfer (Hasan et al., 2024). Selain berfungsi sebagai pembenah tanah, biochar juga memiliki potensi sebagai bahan pengganti kapur karena kandungan kation basa seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan K^{+} yang relatif tinggi. Analisis laboratorium menunjukkan bahwa biochar memiliki pH bersifat basa (sekitar 9,5) dan mengandung fosfor (1,23%) serta kalium (2,17%) (Ardi et al., 2023). Biochar dapat dihasilkan dari berbagai limbah biomassa, termasuk ampas tebu dan residu pabrik gula, serta dapat dikombinasikan dengan pupuk organik, hayati, maupun anorganik untuk memperoleh hasil yang lebih optimal. Keunggulan biochar meliputi ketersediaan bahan baku yang melimpah, kemampuan sekuestrasi karbon, pengurangan limbah, serta peningkatan kualitas tanah. Namun, kendala dalam penerapan biochar antara lain biaya distribusi yang tinggi, variasi kandungan kimia antar sumber bahan, serta tingkat adopsi petani yang masih rendah (Putra et al., 2024). Selain tebu, sumber biomassa potensial lain yang banyak tersedia di Indonesia adalah eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). Tanaman air ini dikenal memiliki kemampuan adaptasi tinggi di berbagai perairan tropis dan subtropis, namun pertumbuhannya yang cepat dan invasif sering kali menimbulkan gangguan ekologis (Nandiyanto et al., 2023). Eceng gondok dapat berkembang biak secara generatif dan vegetatif dengan laju pertumbuhan yang sangat cepat, di mana dalam waktu 7–10 hari populasinya dapat berlipat ganda dan mencapai tinggi 0,4–0,8 meter (Tulak et al., 2022).

Kandungan unsur hara eceng gondok meliputi nitrogen (0,28%), fosfat (0,0011%), dan kalium (0,016%), yang menjadikannya bahan potensial untuk pembuatan pupuk organik (Kusman et al., 2024). Eceng gondok juga mengandung protein 12–18% dan asam amino seperti giberelin yang berperan sebagai fitohormon alami pada bagian akar. Selain itu, tanaman

ini memiliki kemampuan tinggi dalam menyerap logam berat seperti Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, dan Zn, sehingga efektif digunakan dalam proses fitoremediasi (Kamila et al., 2022). Eceng gondok mengandung asam humat (humic acid, HA) yang berperan penting dalam memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah (Rahmawati et al., 2024). Asam humat merupakan molekul organik kompleks yang dapat meningkatkan struktur dan kapasitas tukar kation tanah, menetralkan pH, memperbaiki aktivitas enzim dan siklus nitrogen, serta meningkatkan ketersediaan hara (Ampong et al., 2022). Kandungan unsur hara dalam pupuk organik berfungsi sebagai granulator, sumber hara makro dan mikro, serta sumber energi bagi mikroorganisme tanah (Fitrihidajati et al., 2021).

Pemanfaatan eceng gondok sebagai bahan dasar pupuk organik cair (POC) menjadi solusi inovatif untuk mengatasi permasalahan lingkungan sekaligus meningkatkan kesuburan tanah (Harbi et al., 2021). Pupuk organik hayati yang dihasilkan dari bahan tanaman maupun hewan melalui proses penguraian alami memiliki kandungan karbon tinggi dan tidak mengandung bahan kimia berbahaya (Kosasih, 2023). Kualitas pupuk hayati sangat bergantung pada viabilitas mikroorganisme selama penyimpanan hingga aplikasi di lapangan (Sondang et al., 2024). Penggunaan pupuk organik dalam jangka panjang terbukti dapat meningkatkan produktivitas lahan dan mencegah degradasi tanah (Widowati et al., 2022).

Pupuk organik dapat berbentuk padat maupun cair. Pupuk organik cair diperoleh melalui proses fermentasi bahan organik dengan bantuan mikroorganisme seperti bakteri *Lactobacillus* atau *Bacillus sp.* (Hasibuan et al., 2021). POC memiliki keunggulan dibanding pupuk padat karena unsur haranya lebih mudah diserap oleh akar tanaman (Widyabudiningsih et al., 2021). POC dari eceng gondok telah diaplikasikan pada berbagai tanaman hortikultura, seperti bayam (*Amaranthus sp.*), sawi (*Brassica juncea*), buncis (*Phaseolus vulgaris*), dan kangkung (*Ipomoea reptans*), dengan hasil peningkatan pertumbuhan dan produktivitas yang signifikan (Karlitus et al., 2024; Manopo et al., 2024; Izzaty et al., 2022; Kamila et al., 2022). Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh serta efektivitas kombinasi biochar berbahan biomas tebu dan pupuk organik cair berbahan dasar eceng gondok terhadap pertumbuhan tanaman bayam (*Amaranthus sp.*), serta mengidentifikasi kandungan unsur hara utama yang terdapat pada kedua bahan tersebut.

MATERI DAN METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Percobaan dilakukan pada bulan Februari hingga April 2025 di Kp. Kubang RT02 RW 07, Desa Banjarwaru, Kecamatan Ciawi, Kabupaten Bogor dengan ketinggian sekitar 500-800 mdpl.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah ampas tebu, benih bayam hijau, eceng gondok, EM4, gula merah, dedak, air. Alat yang digunakan adalah pisau, galon, selang aerator, corong, saringan, alat tulis dan penunjang lainnya.

Pelaksanaan Percobaan

Proses pembuatan biochar dilakukan melalui pirolisis atau pembakaran limbah organik tanpa oksigen (O₂) pada suhu tinggi. Proses pembakaran bertujuan untuk menguraikan senyawa organik secara termal dengan tekanan dan suhu tinggi tanpa adanya oksigen (O₂), dengan suhu pembakaran 400 oC dalam waktu 4 jam. Proses pembakaran melalui pirolisis dapat menghasilkan karbon (Biochar), cairan (Bio Oil), dan gas (Syngas). Karbon yang dihasilkan berasal dari penyusutan komponen sampel yang dipanaskan melalui penguraian senyawa organik, sedangkan asap cair berasal dari kondensasi uap selama pembakaran berlangsung.

Spesifikasi Biochar yang digunakan pada percobaan ini sebelumnya telah dilakukan pengujian di laboratorium pengujian Sucofindo. Lokasi produksi di Majalengka, Jawa Barat. Bahan baku yang digunakan untuk pembuatan biochar dari ampas tebu. Biochar yang digunakan mengandung pH basa 8,83, berfungsi untuk menetralkan tanah yang asam, meningkatkan ketersediaan nutrisi, dan secara keseluruhan meningkatkan kesehatan tanah. Luas permukaan yang tinggi serta struktur pori yang berpori meningkatkan retensi air, pertumbuhan akar, dan interaksi mikroba. Dengan 63,2% kandungan karbon tetap, biochar ini mendukung penyimpanan karbon jangka panjang, sementara kandungan abu 16,9% menyediakan mineral esensial untuk meningkatkan kesuburan tanah, mendukung pertanian yang lebih tahan lama dan produktif (Tabel 1).

Tabel 1. Parameter dan hasil uji biochar ampas tebu

Parameter	Hasil
Karbon Tetap	63,20%
Kadar Air	3,70%
Bahan Mudah Menguap	16,20%
Kandungan Abu	16,90%
Nilai Kalori Kasar	5400 kcal/kg
pH	8,83
Kapasitas Tukar Kation	11,68 meq/100g
Luas Permukaan BET	91,56 m ² /g
Ukuran Pori Rata-rata	16,34 Å

Klasifikasi kualitas biochar yang diproduksi oleh SAWA Biochar yang digunakan dalam percobaan ini diklasifikasikan sebagai grade A menurut klasifikasi biochar dari Kementerian Pertanian Indonesia (Keputusan Menteri Pertanian No. 261/KPTS/SR.310/M/4/2019).

Proses pembuatan POC dengan mengisi seluruh bahan di galon pertama dan air galon kedua, menyambungkan aerator melalui kedua tutup galon dengan mengusahakan selang masuk kedalam air di galon kedua, kemudian mendinginkan di tempat gelap sehingga proses anaerob berjalan selama 14 hari.

Percobaan ini menggunakan RAL (Rancangan Acak Lengkap) yaitu komposisi tanah dan biochar (kontrol, 1:5 dan 1:10 dan waktu pemberian POC (kontrol, 7 HST, dan 14 HST).

Variabel pengamatan yaitu, tinggi tanaman, jumlah daun, indeks luas daun, bobot biomassa. Pengamatan dilakukan pada 7 HST, 14 HST, 21 HST, 28 HST dan 30 HST. Hasil pengamatan diuji dengan aplikasi SPSS 25 pada taraf 5%. Jika terdapat pengaruh yang nyata maka dilanjutkan dengan DMRT.

Penelitian ini memiliki beberapa kebaruan terkait inovasi dalam pemanfaatan limbah dan penggunaannya dalam peningkatan kualitas tanah dan produksi tanaman sayuran bayam. Dari segi kebaruan, penelitian ini menawarkan pendekatan ramah lingkungan dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman bayam dengan memanfaatkan limbah organik secara efektif. Berikut beberapa novelty dari kajian penelitian ini:

1. Inovasi dalam Pemanfaatan Limbah

Penggunaan biochar dari tebu dan pupuk organik cair dari eceng gondok sebagai kombinasi bahan pemupukan menunjukkan pendekatan baru dalam memanfaatkan limbah pertanian dan perairan. Eceng gondok sering dianggap sebagai gulma perairan yang mengganggu, sehingga penelitian ini memberikan solusi dalam mengelolanya sebagai pupuk.

2. Kombinasi Unik Bahan Organik

Sebagian besar penelitian biasanya hanya fokus pada satu jenis pupuk organik, sedangkan kombinasi biochar dan pupuk organik cair belum banyak diteliti, terutama dalam konteks pertumbuhan bayam.

3. Potensi Peningkatan Kualitas Tanah dan Efisiensi Pupuk

Biochar diketahui dapat meningkatkan retensi air dan ketersediaan nutrisi dalam tanah, sementara pupuk organik cair dapat menyediakan unsur hara cepat tersedia. Kombinasi keduanya berpotensi meningkatkan efisiensi pemupukan.

4. Aplikasi pada Tanaman Bayam

Fokus penelitian ini pada bayam juga menjadi kebaruan jika karena belum banyak penelitian yang menguji kombinasi biochar dan pupuk organik cair terhadap sayuran bayam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Lokasi Percobaan

Percobaan dilakukan di Kp. Kubang RT02 RW 07, Desa Banjarwaru, Kecamatan Ciawi, Kabupaten Bogor. Jenis tanah didominasi oleh jenis tanah Andosol (tanah vulkanik), yang berasal dari material gunung berapi dan memiliki sifat subur. Tekstur tanah lempung berpasir hingga lempung berdebu, yang baik untuk drainase tetapi tetap mampu menyimpan kelembaban. Kandungan bahan organik tinggi karena berada di daerah pegunungan dengan banyak sisa vegetasi. pH tanah berkisar antara 5,5 – 7,0, yang tergolong sedikit asam hingga netral. Ketinggian sekitar 500-800 mdpl. , termasuk zona agroekologi dataran tinggi. Suhu berkisar antara 22-28°C dengan curah hujan tinggi, lebih dari 2.500 mm/tahun, sehingga kelembaban udara cukup tinggi. Sumber air dan drainase cukup baik, di dapat dari curah hujan dan aliran sungai kecil di sekitar lokasi. Pemanfaatan lahan sebagian besar digunakan untuk pertanian hortikultura, termasuk sayuran seperti bayam, cabai, dan tomat. Beberapa area juga digunakan untuk perkebunan dan persawahan, dengan sistem tumpangsari dan agroforestri. Karakteristik ini menunjukkan bahwa lahan di lokasi percobaan sangat potensial untuk percobaan pertanian, terutama dalam pengujian pupuk organik dan biochar untuk meningkatkan kesuburan tanah dan pertumbuhan tanaman seperti bayam.

Karakteristik Tanah Sebelum Perlakuan

Karakteristik tanah sebelum diberi perlakuan biochar dan POC eceng gondok memiliki nilai pH 6,97, sehingga.. tergolong netral, yang berarti cukup baik untuk pertumbuhan sebagian besar tanaman karena ketersediaan unsur hara optimal dalam rentang ini. Kandungan K⁺ tanah sebesar 7200 ppm, kalium (K) menunjukkan kandungan K yang sangat tinggi, yang dapat membantu meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman. Kandungan Ca²⁺ 420 ppm, menunjukkan kandungan kalsium yang cukup tersedia untuk tanaman. Ketersediaan Ca yang cukup dapat mengurangi dampak keracunan unsur lain seperti aluminium (Al) di tanah. Kandungan Na⁺ di tanah sebesar 100 ppm, natrium (Na) menunjukkan kandungan Na yang relatif rendah dan belum mencapai tingkat toksik bagi tanaman. Kandungan nitrat(NO₃⁻) di tanah sebesar 3000 ppm, nitrat (NO₃⁻) tergolong sangat tinggi dan dapat menunjang pertumbuhan tanaman dengan baik.

Hasil Analisis POC Eceng gondok)

Kandungan yang terdapat pada POC eceng gondok memiliki pH sebesar 4.02, Ca²⁺ 430 ppm, Na⁺ 650 ppm, dan kandungan nitrat (NO₃⁻) 6700 ppm. pH 4,02 menunjukkan bahwa POC ini bersifat asam. pH yang rendah dalam larutan pupuk dapat mempengaruhi kesuburan tanah ketika diaplikasikan. POC yang bersifat asam dapat meningkatkan kelarutan unsur hara tertentu seperti Fe, Mn, dan Al, tetapi juga dapat menyebabkan pencucian kation basa seperti

Ca²⁺ dan Mg²⁺ jika tidak diseimbangkan dengan bahan lain seperti biochar atau kapur pertanian. Jika digunakan dalam dosis yang tepat, POC dengan pH asam dapat membantu menurunkan pH tanah yang terlalu basa, tetapi perlu dicampur atau diencerkan sebelum aplikasi agar tidak berdampak negatif pada tanaman. Kalsium (Ca²⁺) dalam POC berfungsi untuk; memperkuat dinding sel tanaman, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap penyakit. Menyeimbangkan ketersediaan hara lain seperti kalium (K) dan magnesium (Mg). Membantu dalam proses pembelahan dan pemanjangan sel. Kandungan Ca POC 430 ppm menunjukkan jumlah kalsium yang cukup Kandungan Na 650 ppm tergolong sedang hingga cukup tinggi untuk larutan pupuk.. Kandungan nitrat sebesar 6700 ppm termasuk sangat tinggi, yang berarti POC ini memiliki potensi besar dalam meningkatkan kesuburan tanah dan pertumbuhan tanaman. Nitrat berfungsi dalam mendukung pembentukan daun, perkembangan sistem akar dan meningkatkan laju fotosintesis sehingga tanaman tumbuh lebih cepat.

Hasil Pengamatan Pertumbuhan Tanaman

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa pemberian kombinasi biochar tebu dan pupuk organik cair (POC) eceng gondok memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi tanaman dan jumlah daun, namun tidak berpengaruh nyata terhadap panjang akar, bobot segar tanaman, bobot tajuk, dan bobot akar (Tabel 2). Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan tersebut berpengaruh terhadap pertumbuhan vegetatif bagian atas tanaman, tetapi belum memberikan dampak signifikan pada parameter biomassa total maupun sistem perakaran.

Tabel 2. Rekapitulasi sidik ragam hasil uji F (5%)

No	Peubah amatan	Keterangan
1	Tinggi tanaman	Nyata
2	Jumlah daun	Nyata
3	Panjang akar	Tidak nyata
4	Bobot segar tanaman	Tidak nyata
5	Bobot tajuk	Tidak nyata
6	Bobot akar	Tidak nyata

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan kombinasi antara biochar tebu dan pupuk organik cair (POC) eceng gondok memberikan pengaruh yang berbeda terhadap pertumbuhan tanaman bayam, khususnya pada peubah tinggi tanaman, jumlah daun, dan panjang akar. Berdasarkan Tabel 3, perlakuan biochar tebu dengan perbandingan 1:10 menghasilkan tinggi tanaman bayam tertinggi yaitu 20,58 cm, berbeda nyata dibandingkan perlakuan 1:5 (13,13 cm) dan kontrol (13,03 cm). Hal ini menunjukkan bahwa dosis biochar yang lebih tinggi mampu meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman, terutama dalam aspek tinggi tanaman. Peningkatan ini diduga karena biochar memperbaiki sifat fisik tanah seperti aerasi, porositas, dan kemampuan menahan air, serta meningkatkan ketersediaan unsur hara

yang dibutuhkan tanaman (Hariyono, 2021). Biochar juga berperan sebagai amelioran tanah yang mampu meningkatkan ketersediaan unsur hara N, P, dan K melalui peningkatan kapasitas tukar kation (KTK) serta menurunkan laju pencucian hara (Hasan et al., 2024).

Tabel 3 Hasil rata-rata tinggi tanaman, jumlah daun dan panjang akar bayam

Tanah : Biochar tebu	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah daun (helai)	Panjang akar (cm)
1:5	13,13 b	7,88 a	10,13 a
1:10	20,58 a	6,58 b	11,35 a
Kontrol	13,03 b	7,65 a	8,70 b
POC Eceng gondok			
0	16,02 ab	7,60 a	10,41 a
100	15,42 ab	7,22 a	9,79 a
150	13,89 b	7,00 a	9,64 a
200	17,00 a	7,67 a	10,40 a

Keterangan: Nilai rata-rata pada kolom yang sama diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT 5%.

Perlakuan biochar tebu perbandingan 1:10 juga memberikan hasil jumlah daun yang sedikit lebih rendah (6,58 helai) dibandingkan perlakuan 1:5 (7,88 helai) dan kontrol (7,65 helai). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan dosis biochar tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan jumlah daun. Kemungkinan hal ini disebabkan oleh ketidakseimbangan rasio C/N pada tanah yang diberi biochar berlebihan, yang dapat menghambat ketersediaan nitrogen mineral untuk pembentukan daun (Ardi et al., 2023). Biochar dengan kandungan karbon tinggi dapat menyerap nitrogen dalam jangka pendek sehingga menurunkan ketersediaannya bagi tanaman, yang berakibat pada berkurangnya pertumbuhan vegetatif seperti jumlah daun (Putra et al., 2024).

Sementara itu, pada parameter panjang akar, perlakuan biochar tebu 1:10 menunjukkan hasil tertinggi yaitu 11,35 cm, meskipun tidak berbeda nyata dengan perlakuan 1:5 (10,13 cm). Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan biochar berpotensi meningkatkan pertumbuhan akar melalui perbaikan kondisi tanah. Biochar membantu meningkatkan aerasi dan struktur tanah yang lebih gembur, sehingga memudahkan penetrasi akar ke lapisan tanah yang lebih dalam (Mamnua et al., 2021). Selain itu, porositas biochar yang tinggi juga menyediakan ruang bagi mikroorganisme menguntungkan, yang secara tidak langsung meningkatkan aktivitas biologis tanah dan mendukung pertumbuhan akar (Bahri et al., 2021).

Perlakuan POC eceng gondok juga memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan bayam. Dosis POC 200 mL/L menghasilkan tinggi tanaman tertinggi yaitu 17,00 cm, berbeda nyata dengan perlakuan 150 mL/L yang hanya mencapai 13,89 cm. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan dosis pupuk cair hingga batas tertentu dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman, karena POC eceng gondok mengandung unsur hara makro seperti N, P, dan K yang dibutuhkan tanaman untuk pertumbuhan vegetatif (Kusman et al., 2024). Unsur nitrogen berperan dalam pembentukan klorofil dan protein yang berpengaruh pada laju fotosintesis dan pertumbuhan batang (Fitrihidajati et al., 2021). Namun, dosis yang terlalu tinggi juga dapat menyebabkan

kelebihan unsur tertentu yang justru menghambat penyerapan hara lainnya, sehingga diperlukan dosis yang seimbang.

Pada parameter jumlah daun, perlakuan POC eceng gondok tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antar dosis, dengan jumlah daun berkisar antara 7,00–7,67 helai. Hal ini menandakan bahwa aplikasi POC eceng gondok lebih berpengaruh terhadap pertumbuhan tinggi tanaman dibandingkan terhadap jumlah daun. Kemungkinan hal ini disebabkan oleh distribusi energi fotosintesis yang lebih diarahkan untuk pemanjangan batang dibandingkan pembentukan daun baru (Widyabudiningsih et al., 2021). Selain itu, respon tanaman terhadap pupuk organik cair cenderung bersifat lambat karena unsur hara dilepaskan secara bertahap selama proses dekomposisi bahan organik (Hasibuan et al., 2021).

Sedangkan pada panjang akar, pemberian POC eceng gondok tidak menunjukkan perbedaan nyata antar dosis, dengan kisaran 9,64–10,40 cm. Hal ini menunjukkan bahwa POC eceng gondok belum memberikan pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan akar bayam. Meskipun eceng gondok diketahui mengandung asam humat dan fitohormon seperti giberelin yang dapat merangsang pertumbuhan akar (Rahmawati et al., 2024), efektivitasnya kemungkinan tergantung pada konsentrasi dan waktu aplikasi. Selain itu, biochar yang telah memperbaiki struktur tanah dapat lebih dominan dalam memengaruhi pertumbuhan akar dibandingkan pengaruh POC itu sendiri.

Berdasarkan hasil penelitian yang disajikan pada Tabel 4, diketahui bahwa perlakuan biochar tebu dan pupuk organik cair (POC) eceng gondok memberikan pengaruh yang tidak berbeda nyata terhadap bobot total tanaman, bobot akar, maupun bobot tajuk bayam. Meskipun demikian, terdapat variasi nilai rata-rata yang menunjukkan adanya tren peningkatan atau penurunan yang dapat diinterpretasikan sebagai respons fisiologis tanaman terhadap perlakuan yang diberikan.

Tabel 4 Hasil rata-rata Bobot total tanaman, bobot akar dan bobot tajuk bayam

Tanah : Biochar tebu	Bobot total tanaman (g)	Bobot akar (g)	Bobot tajuk (g)
1:5	12,92 a	1,42 b	11,50 a
1:10	12,42 a	1,17 b	11,25 a
Kontrol	17,00 a	3,17 a	13,83 a
POC Eceng gondok			
0	14,22 a	2,11 a	12,11 a
100	14,00 a	1,67 a	12,33 a
150	11,78 a	1,56 a	10,22 a
200	16,44 a	2,33 a	14,11 a

Keterangan: Nilai rata-rata pada kolom yang sama diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT 5%.

Pada perlakuan biochar tebu, hasil menunjukkan bahwa bobot total tanaman tertinggi terdapat pada kontrol (tanpa biochar) yaitu sebesar 17,00 g, sedangkan perlakuan dengan biochar 1:5 dan 1:10 menghasilkan bobot total 12,92 g dan 12,42 g. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan biochar belum mampu meningkatkan hasil biomassa tanaman bayam secara

signifikan. Kemungkinan hal ini disebabkan oleh sifat biochar yang relatif stabil dan lambat terdekomposisi, sehingga unsur hara yang dilepaskan ke tanah belum tersedia secara optimal bagi tanaman dalam waktu singkat (Hasan et al., 2024). Menurut Hariyono (2021), biochar memerlukan waktu tertentu untuk berinteraksi dengan tanah dan mikroorganisme sebelum dapat memberikan efek positif terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman. Dengan demikian, penggunaan biochar mungkin lebih efektif pada jangka panjang dibandingkan pada satu musim tanam.

Bobot akar tertinggi juga diperoleh pada perlakuan kontrol (3,17 g), yang berbeda nyata dengan perlakuan biochar 1:5 (1,42 g) dan 1:10 (1,17 g). Hal ini mengindikasikan bahwa aplikasi biochar dalam dosis yang digunakan pada penelitian ini belum mendukung perkembangan akar secara optimal. Kemungkinan penyebabnya adalah rasio C/N biochar yang tinggi, yang dapat menghambat mineralisasi nitrogen dalam tanah dan menurunkan ketersediaan hara bagi tanaman (Putra et al., 2024). Selain itu, tekstur tanah yang terlalu gembur akibat penambahan biochar dalam jumlah besar dapat mengurangi kontak akar dengan tanah dan menghambat penyerapan air maupun hara (Ardi et al., 2023).

Bobot tajuk tanaman tidak menunjukkan perbedaan nyata antar perlakuan, dengan nilai berkisar antara 11,25–13,83 g. Meskipun kontrol menunjukkan angka tertinggi (13,83 g), perlakuan dengan biochar 1:5 dan 1:10 juga memberikan hasil yang cukup sebanding. Hal ini menunjukkan bahwa biochar masih memberikan manfaat terhadap pertumbuhan tajuk, meskipun belum signifikan secara statistik. Menurut Bahri et al. (2021), keberadaan biochar dapat meningkatkan porositas tanah dan menahan kelembapan, yang mendukung pertumbuhan bagian atas tanaman, terutama daun dan batang, meski efeknya baru terlihat setelah aplikasi berulang.

Perlakuan POC eceng gondok juga menunjukkan tidak adanya perbedaan nyata terhadap bobot total tanaman, bobot akar, dan bobot tajuk. Namun, terdapat tren bahwa dosis 200 mL/L menghasilkan bobot total tertinggi (16,44 g), bobot akar 2,33 g, dan bobot tajuk 14,11 g. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan dosis pupuk cair hingga batas tertentu dapat meningkatkan akumulasi biomassa tanaman. Kandungan unsur hara makro (N, P, K) serta senyawa bioaktif seperti asam humat dan fitohormon pada POC eceng gondok diduga berkontribusi terhadap peningkatan pertumbuhan tersebut (Rahmawati et al., 2024; Kusman et al., 2024). Asam humat diketahui dapat memperbaiki ketersediaan unsur hara, menstimulasi aktivitas mikroba tanah, serta meningkatkan efisiensi penyerapan hara oleh akar (Ampong et al., 2022). Namun demikian, pada dosis POC yang lebih rendah (100–150 mL/L), hasil menunjukkan bobot tanaman yang lebih rendah. Hal ini mungkin disebabkan karena jumlah unsur hara yang tersedia tidak mencukupi kebutuhan pertumbuhan optimal tanaman bayam. Selain itu, sifat pupuk organik cair yang lambat tersedia menyebabkan efeknya baru terlihat setelah beberapa kali aplikasi (Hasibuan et al., 2021). Fenomena ini sejalan dengan temuan Widyabudiningsih et al. (2021) yang menyatakan bahwa efektivitas POC tergantung pada konsentrasi, waktu aplikasi, dan kemampuan tanaman menyerap unsur hara dalam bentuk cair.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun perlakuan biochar tebu dan POC eceng gondok belum memberikan perbedaan nyata terhadap biomassa tanaman bayam, keduanya menunjukkan potensi positif terhadap perbaikan sifat tanah dan ketersediaan hara. Biochar berperan sebagai pembenah tanah jangka panjang, sedangkan POC eceng gondok berfungsi sebagai sumber hara cepat tersedia. Kombinasi kedua bahan ini diharapkan dapat memberikan efek sinergis pada aplikasi lanjutan, terutama dalam sistem pertanian organik yang berkelanjutan dan ramah lingkungan (Widowati et al., 2022; Ekawandani & Halimah, 2021).

KESIMPULAN DAN IMPLIKASI

Penelitian menunjukkan bahwa aplikasi biochar tebu dan pupuk organik cair (POC) berbahan eceng gondok belum memberikan pengaruh signifikan terhadap sebagian besar parameter pertumbuhan dan hasil bayam. Namun, terdapat tren positif pada peningkatan tinggi tanaman dan jumlah daun. Perlakuan biochar rasio 1:10 menghasilkan tinggi tanaman tertinggi, sementara POC 200 mL/L cenderung meningkatkan bobot total dan tajuk tanaman. Biochar berpotensi memperbaiki struktur tanah dan efisiensi serapan hara, sedangkan POC eceng gondok menyediakan unsur hara dan senyawa organik yang mendukung pertumbuhan vegetatif.

Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa penggunaan biochar tebu dan POC eceng gondok berpotensi menjadi teknologi ramah lingkungan untuk memperbaiki kesuburan tanah dan mendukung pertanian berkelanjutan. Namun, diperlukan penelitian lanjutan dengan periode aplikasi lebih lama, variasi dosis, serta pengamatan terhadap sifat kimia tanah agar efek sinergis keduanya dapat dioptimalkan sebagai bahan pembenah tanah dan sumber hara organik yang efektif.

DAFTAR PUSTAKA

Ampong, K., Li, J., Chen, L., & Asante, D. (2022). *Role of humic substances in soil fertility, plant nutrition, and sustainable agriculture: A review*. *Environmental Advances*, 8, 100212. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100212>

Ardi, D., Suryani, N., & Wahyuni, R. (2023). *Karakteristik kimia biochar dari berbagai bahan baku limbah pertanian dan potensinya sebagai pembenah tanah*. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*, 25(2), 89–97.

Bahri, S., Siregar, S. H., & Handoko, D. D. (2021). *Analisis struktur lignoselulosa pada bagas tebu (*Saccharum officinarum* L.) sebagai bahan baku bioenergi*. *Jurnal Rekayasa Pertanian*, 9(1), 12–21.

Ekawandani, N., & Halimah, L. (2021). *Pengelolaan bahan organik untuk pertanian berkelanjutan*. *Jurnal Agroteknologi Tropika*, 10(3), 145–154.

- Fitrihidajati, H., Utami, S. N. H., & Wulandari, N. (2021). *Peran unsur hara makro dan mikro dalam pertumbuhan tanaman serta pengaruh pupuk organik terhadap ketersediaannya*. *Jurnal Biologi Tropis*, 21(2), 245–256.
- Harbi, M., Syamsudin, A., & Rahayu, P. (2021). *Pemanfaatan eceng gondok (Eichhornia crassipes) sebagai bahan dasar pupuk organik cair ramah lingkungan*. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Agroinovasi*, 2(1), 33–41.
- Hariyono, D. (2021). *Pengaruh biochar terhadap peningkatan karbon organik dan kualitas tanah pada lahan pertanian tropis*. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 8(1), 97–108.
- Hasan, R., Yuliani, T., & Fadilah, S. (2024). *Peran biochar dalam meningkatkan kesuburan tanah dan mitigasi logam berat pada lahan pertanian intensif*. *Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 14(1), 45–56.
- Hasibuan, D. A., Siregar, R., & Nurhayati, N. (2021). *Pengaruh pupuk organik cair hasil fermentasi terhadap pertumbuhan tanaman hortikultura*. *Jurnal Agroekoteknologi*, 9(3), 202–210.
- Izzaty, A. N., Prasetyo, E., & Nugraha, R. (2022). *Respon pertumbuhan tanaman buncis (Phaseolus vulgaris L.) terhadap pemberian pupuk organik cair eceng gondok*. *Jurnal Agrosains Tropis*, 6(2), 88–95.
- Kamila, F., Dewi, L., & Suryana, R. (2022). *Kemampuan eceng gondok (Eichhornia crassipes) dalam fitoremediasi logam berat dan aplikasinya pada pertanian organik*. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(3), 125–136.
- Karlitus, T., Pranoto, B., & Lestari, I. (2024). *Efektivitas pupuk organik cair eceng gondok terhadap pertumbuhan dan hasil bayam (Amaranthus sp.)*. *Jurnal Hortikultura Tropika*, 14(1), 22–30.
- Kosasih, H. (2023). *Kualitas pupuk hayati dan peranannya dalam meningkatkan kesuburan tanah dan produksi tanaman*. *Jurnal Agroteknologi Indonesia*, 8(2), 55–65.
- Kusman, R., Wahyuni, A., & Kurniawan, D. (2024). *Analisis kandungan unsur hara pada eceng gondok (Eichhornia crassipes) sebagai bahan pupuk organik cair*. *Jurnal Bioteknologi Lingkungan*, 12(1), 34–43.
- Mamnua, S., Hidayat, M., & Wahid, S. (2021). *Peranan silika pada ketahanan tebu (Saccharum officinarum L.) terhadap cekaman lingkungan dan serangan hama penyakit*. *Jurnal Perlindungan Tanaman*, 19(2), 67–75.
- Manopo, M. R., Kurnia, N., & Susanto, A. (2024). *Respon pertumbuhan sawi hijau terhadap aplikasi pupuk organik cair eceng gondok dengan berbagai konsentrasi*. *Jurnal Agrosaintifika*, 6(1), 49–58.

Nandiyanto, A. B. D., Triawan, F., & Abdullah, A. G. (2023). *Eceng gondok (Eichhornia crassipes): Potensi dan tantangan dalam bioteknologi lingkungan*. Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan, 9(2), 101–116.

Putra, A. W., Lestari, D., & Nugroho, B. (2024). *Kendala dan prospek penerapan biochar dalam sistem pertanian berkelanjutan di Indonesia*. Jurnal Agroinovasi, 18(1), 23–35.

Rahmawati, N., Syafruddin, A., & Utami, E. (2024). *Peran asam humat pada pupuk organik dalam meningkatkan kesuburan tanah dan efisiensi hara*. Jurnal Ilmu Tanah Indonesia, 12(1), 15–26.

Saputro, D. P., & Rianti, E. (2023). *Analisis produktivitas tebu di Indonesia dan strategi peningkatan daya saing industri gula nasional*. Jurnal Agroindustri Indonesia, 11(3), 167–177.

Sondang, P., Halim, A., & Nasution, S. (2024). *Stabilitas mikroorganisme pada pupuk organik hayati selama penyimpanan dan aplikasinya di lapangan*. Jurnal Agroteknologi Terapan, 13(1), 41–50.

Sugiharto, T., & Firdaus, A. (2021). *Potensi limbah tebu sebagai sumber energi terbarukan di Indonesia*. Jurnal Energi dan Teknologi Lingkungan, 5(2), 77–85.

Tulak, L. D., Hermansyah, R., & Fadli, M. (2022). *Pertumbuhan populasi eceng gondok (Eichhornia crassipes) di perairan tropis dan implikasinya terhadap ekosistem*. Jurnal Limnologi Tropika, 10(1), 14–22.

Widowati, R., Santoso, T., & Prasetya, B. (2022). *Dampak jangka panjang penggunaan pupuk organik terhadap produktivitas lahan pertanian*. Jurnal Tanah dan Pupuk Indonesia, 20(2), 121–132.

Widyabudiningsih, D., Rahman, A., & Lestari, P. (2021). *Efektivitas pupuk organik cair terhadap pertumbuhan tanaman sayuran daun*. Jurnal Hortikultura Indonesia, 12(1), 45–52.

Wiraguna, A. R., & Yunikawati, T. (2023). *Pemanfaatan limbah tebu sebagai bahan baku biochar dan pupuk organik: Tinjauan teknologi dan ekonomi*. Jurnal Energi Biomassa, 9(2), 59–70.