



BIOFARM

Jurnal Ilmiah Pertanian

ISSN Print: 0216-5430; ISSN Online: 2301-6442

Vol. 21, No. 2, Oktober 2025

Dampak Residu Dosis Biochar dan Metode Irigasi Pada Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Sawi Pagoda (*Brassica narinosa* L.) pada Musim Tanam Kedua

The Impact Of Biochar Dose Residue and Irrigation Methods On The Growth And Yield Of Pagoda Mustard (Brassica narinosa L) Plants In The Second Planting Season

Aprithaliani Srinarti Langga^{1*}, Widowati¹, Hidayati Karamina¹

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Tribhuwana Tunggaladewi Malang

*Korespondensi Penulis: pritalangga@gmail.com

ABSTRAK

Produksi sawi di Indonesia mengalami ketidakstabilan bahkan cenderung menurun akibat kondisi lahan yang terdegradasi, ditandai rendahnya kandungan bahan organik serta menurunnya tingkat kesuburan tanah. Penggunaan pupuk anorganik secara intensif dalam jangka panjang memperburuk keadaan tersebut, sehingga diperlukan inovasi teknologi ramah lingkungan, salah satunya melalui aplikasi biochar. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh media tanam bekas aplikasi biochar dan metode irigasi terhadap pertumbuhan serta hasil sawi pagoda (*Brassica narinosa* L.) pada musim tanam kedua. Rancangan penelitian yang digunakan adalah nested design dengan dua faktor, yaitu jenis media tanam bekas irigasi tetes (TR) dan konvensional (KR), serta dosis biochar sekam padi 0%, 2% (120 g), 4% (240 g), dan 6% (360 g). Hasil percobaan memperlihatkan bahwa jenis media tanam tidak memberikan pengaruh nyata terhadap parameter pertumbuhan maupun hasil. Sebaliknya, perlakuan biochar menunjukkan pengaruh signifikan terhadap tinggi tanaman, dan jumlah daun, serta total biomassa. Aplikasi biochar pada dosis 2–6% menghasilkan pertumbuhan terbaik, ditandai dengan peningkatan biomassa basah maupun kering dibanding kontrol. Temuan ini membuktikan bahwa residu biochar yang diberikan pada musim tanam sebelumnya tetap berperan dalam meningkatkan produktivitas tanaman pada musim berikutnya. Dengan demikian, biochar berpotensi besar menjadi pembenah tanah berkelanjutan untuk mendukung budidaya sawi pagoda dan mengatasi permasalahan degradasi lahan.

Kata kunci: Media tanam, irigasi tetes, konvensional, pengaruh residual

ABSTRACT

Mustard production in Indonesia has been unstable and even declining due to degraded land conditions, characterized by low organic matter content and decreased soil fertility. Long-term intensive use of inorganic fertilizers has exacerbated this situation, necessitating environmentally friendly technological innovations, one of which is the application of biochar. This study aims to evaluate the effect of planting media treated with biochar and irrigation methods on the growth and yield of pagoda mustard (*Brassica narinosa* L.) in the second planting season. The research design used was a nested design with two factors, namely the type of planting medium used for drip irrigation (TR) and conventional irrigation (KR), as well as the dosage of rice husk biochar at 0%, 2% (120 g), 4% (240 g), and 6% (360 g). The results showed that the type of growing medium did not have a significant effect on growth parameters or yield. Conversely, biochar treatment had a significant effect on plant height, number of leaves, and total biomass. The application of biochar at a dose of 2–6% produced the best growth, characterized by an increase in wet and dry biomass compared to the control. These findings prove that biochar residues applied in the previous growing season continue to play a role in increasing crop productivity in the following season. Thus, biochar has great potential as a sustainable soil conditioner to support pagoda mustard cultivation and overcome land degradation problems.

Keywords: Growing medium, drip irrigation, conventional, residual effect

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki beragam komoditas tanaman pertanian yang dapat dibudidayakan dan dikembangkan guna memenuhi kebutuhan sehari-hari. Salah satu komoditas hortikultura dengan prospek baik adalah sawi, terutama jenis sawi pagoda (*Brassica narinosa* L.). Tanaman ini berasal dari keluarga Brassicaceae dan sangat potensial untuk dikembangkan di Indonesia karena kondisi iklim, aspek teknis, ekonomi, dan sosial yang mendukungnya (Syifa et al., 2020). Sawi pagoda dapat tumbuh pada ketinggian mulai dari dataran rendah sampai 500–1200 mdpl. Selain itu, tanaman ini mengandung gizi yang tinggi seperti protein, lemak, karbohidrat, serta mineral seperti Ca, P, Fe, serta vitamin A, B, dan C, yang memiliki peran penting dalam mendukung kesehatan dan pencegahan kanker (Irmawati, 2018).

Data BPS (2020) mengindikasikan bahwa produksi sawi selama enam tahun terakhir cenderung mengalami fluktuasi dengan tren penurunan, contohnya produksi pada tahun 2016 tercatat sebesar 3924 ton, lalu menurun menjadi 3755 ton pada tahun 2020. Permintaan pangan yang makin meningkat akibat pertumbuhan populasi dan peningkatan kesejahteraan memberikan tekanan pada penggunaan lahan, tetapi perhatian petani terhadap pemeliharaan dan pemulihan lahan masih kurang, sehingga mengakibatkan degradasi (Rattan, 2019). Kondisi ini memperburuk kualitas tanah melalui penurunan kesuburan dan kandungan bahan organik.

Lahan pertanian merupakan ekosistem yang sensitif dan rentan terhadap degradasi, yang berdampak negatif pada hasil panen serta meningkatkan biaya rehabilitasi lahan (Subandi et al., 2018). Degradasi lahan juga berpotensi menimbulkan bencana alam seperti kekeringan dan banjir, serta turut berkontribusi pada pemanasan global. Oleh sebab itu, teknologi rehabilitasi lahan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan perlu diterapkan dengan memperhatikan kondisi fisik, sosial, dan ekonomi di wilayah setempat.

Masalah degradasi lahan pertanian di Indonesia kian mengkhawatirkan, terutama akibat praktik pengolahan tanah yang kurang ramah lingkungan, yang berdampak pada

penurunan kandungan bahan organik serta kerusakan fisik tanah seperti erosi dan pemadatan (Putra et al., 2022). Kajian lainnya menyatakan bahwa perbaikan lahan harus dilakukan dengan mengembalikan kesuburan tanah dan pengelolaan hara secara berkelanjutan guna menjaga ketahanan pangan (Hidayat & Ramadani, 2019). Teknologi biochar sebagai pembenah tanah semakin banyak digunakan karena dapat meningkatkan daya serap air dan nutrisi, sambil merangsang aktivitas mikroba tanah serta memperbaiki struktur fisik tanah (Wahyudi et al., 2021). Selain itu, (Sari dan Wibowo 2020) menyatakan bahwa penerapan biochar yang dipadukan dengan irigasi tetes dapat meningkatkan efisiensi air dan penyerapan nutrisi, sehingga mendukung pertumbuhan tanaman. Kombinasi biochar dengan irigasi konvensional dapat mengubah pH tanah meskipun belum mencapai nilai netral (6,5), yang merupakan faktor penting dalam siklus hara dan aktivitas mikroba tanah (Maydayana et al., 2023).

Sekam padi, sebagai limbah pertanian, dapat berfungsi meningkatkan sifat tanah dan pH serta menyediakan unsur hara esensial bagi tanaman (Seipin et al., 2016). Bila dijadikan biochar, sekam padi tidak hanya dapat meningkatkan produksi lahan tetapi juga bertahan lebih lama di dalam tanah dan mengurangi emisi gas rumah kaca (Mateus et al., 2017). Selain itu, (Kolambani et al. 2022) melaporkan bahwa kombinasi biochar dengan kompos meningkatkan kandungan karbon organik tanah dan ketersediaan hara makro (N, P, K), yang akhirnya meningkatkan hasil tanaman kedelai, memperkuat manfaat biochar dalam perbaikan kesuburan lahan hortikultura. Penelitian (Widowati et al., 2019) juga menunjukkan bahwa penggunaan biochar secara berulang pada musim tanam berikutnya tetap efektif untuk mempertahankan kesuburan tanah, sehingga teknologi ini dapat diterapkan dalam sistem budidaya hortikultura termasuk sawi pagoda.

Media tanam bekas musim tanam sebelumnya masih mempertahankan karakteristik fisik-kimia akibat irigasi yang diberikan, meliputi kelembapan, porositas, serta kadar nutrisi. Hal ini karena adanya peningkatan dosis biochar yang dapat

meningkatkan total porositas tanah secara proporsional (Liu *et al.*, 2020), yang mengakibatkan penurunan kepadatan tanah dan peningkatan laju infiltrasi (Herath *et al.*, 2013). (Lateef *et al.* 2019) mengamati bahwa kapasitas retensi air pada tanah dengan biochar adalah 67,17%, sedangkan tanah tanpa biochar adalah 67,17%. 55,5% setelah 20 hari penelitian. Demikian pula, (Liu *et al.* 2018), juga mengamati bahwa kapasitas retensi air biochar dalam tanah lebih besar daripada tanah yang tidak diolah. Hal ini mungkin disebabkan oleh peningkatan bahan organik tanah dan porositas total.

(Widowati *et al.* 2017) menemukan bahwa residu biochar yang tertinggal setelah musim tanam pertama tetap dapat meningkatkan hasil tanaman jagung pada musim tanam kedua, yang menunjukkan bahwa biochar memiliki efek jangka panjang dalam pemulihan kesuburan tanah (Satriawan, *et al.* 2015.; Rafique, *et al.* 2020). Hasil ini konsisten dengan beberapa penelitian lain yang menyebutkan bahwa sisa biochar dapat mempertahankan dampak positif pada kesuburan dan produktivitas tanaman bahkan pada musim tanam selanjutnya (Widowati *et al.*, 2017; Major *et al.*, 2010; Sukartono *et al.*, 2011; Marzuki, 2022; Agegnehu *et al.*, 2016; Lehmann *et al.*, 2011). (Agegnehu *et al.* 2016) juga melaporkan bahwa kombinasi biochar dengan pupuk organik mampu meningkatkan produktivitas gandum secara berkelanjutan sekaligus memperbaiki kapasitas retensi air tanah tropis. (Lehmann *et al.* 2011) menegaskan bahwa biochar berpotensi sebagai amandemen tanah jangka panjang karena stabilitasnya yang tinggi dan kemampuan meningkatkan siklus hara lintas musim tanam.

Penelitian (Marzuki 2022) menunjukkan bahwa residu biochar dari sekam padi dan jerami masih memberikan efek positif untuk pertumbuhan padi pada musim tanam kedua, menandakan pentingnya efek residual biochar dalam praktik pertanian berkelanjutan. Residu biochar 500 g/polybag setelah lima tahun dan penambahan urea 0,6 g/polybag masih mampu meningkatkan pertumbuhan serta

hasil bayam merah di tanah Entisol (Koreh, Widowati, & Julianto, 2023).

Temuan terkini dari (Zhang *et al.* 2024) menunjukkan bahwa aplikasi biochar dengan dosis hingga 15 t/ha bersama pupuk organik mampu meningkatkan hasil padi hingga 10% dan rapeseed (canola) sebesar 20%–25% pada musim tanam pertama maupun kedua dibanding perlakuan pupuk organik saja. Studi lapangan di Ghana tahun 2025 mengindikasikan peningkatan hasil jagung sampai 218% pada musim tanam pertama dan 106% pada musim tanam kedua dengan biochar dari sekam kacang tanah pada dosis 8 t/ha, sekaligus memperbaiki parameter kesuburan tanah seperti pH, bahan organik, dan nitrogen tersedia. Laporan jangka panjang oleh (Pan *et al.* 2025) menyebutkan bahwa aplikasi biochar tahunan selama lebih dari 4 tahun dapat menambah hasil tanaman global rata-rata 10,8%, memperbaiki kesehatan tanah, dan mengurangi emisi metana sebesar 13,5% serta N₂O sebesar 21,4%.

Melihat kondisi tersebut, biochar tampil sebagai solusi teknologi rehabilitasi lahan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan untuk meningkatkan produktivitas sawi pagoda. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi respons pertumbuhan dan hasil tanaman sawi pagoda (*Brassica narinosa* L.) terhadap pengaruh media tanam bekas aplikasi biochar serta metode irigasi pada musim tanam kedua.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Dusun Bawang, Desa Tungguwulung, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang. Lokasi geografis berada pada koordinat 7°56'–8°00' lintang selatan dan 112°34'–112°38' bujur timur, dengan elevasi sekitar 500 meter di atas permukaan laut. Suhu rata-rata harian berkisar antara 24 hingga 30 °C dengan kelembapan relatif 70–80% dan curah hujan tahunan berkisar sekitar 2200 mm. Tanah bertekstur lempung. Penelitian ini berlangsung selama dua bulan, mulai dari Juni hingga Agustus 2025.

Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan terdiri dari residu biochar sekam padi, tanah bertekstur lempung, pupuk nitrogen (N) tipe Petro, benih sawi pagoda (*Brassica narinosa* L.), serta media semai yang merupakan campuran kompos kotoran sapi, tanah berpasir, dan sekam padi dengan perbandingan 2:1:1. Peralatan yang dipakai meliputi cangkul, sabit, ember, tray semai berukuran 10 × 20 cm, polybag berukuran 15 × 30 cm, karung, timbangan analitik oven pengering, penggaris, spidol, isolasi plastik, serta alat tulis untuk pencatatan data.

Rancangan Percobaan

Penelitian ini menerapkan rancangan tersarang dengan dua faktor perlakuan. Faktor pertama adalah jenis media tanam, yaitu media hasil dari irigasi tetes (T) dan media dari irigasi konvensional (K). Faktor kedua adalah dosis biochar (R) yang terdiri dari empat tingkat, yakni 0% (kontrol), 2% (120 g), 4% (240 g), dan 6% (360 g). Dengan kombinasi tersebut, terdapat delapan perlakuan (TR0%, TR2%, TR4%, TR6%, KR0%, KR2%, KR4%, KR6%) yang masing-masing diulang 4 kali sehingga total satuan percobaan berjumlah 32. Tiap satuan percobaan terdiri dari 2 tanaman sehingga jumlah tanaman yang diamati adalah 64

Tabel 1. Kombinasi perlakuan dosis biochar pada media tanam bekas irigasi tetes (TR) dan konvensional (KR)

Kode Perlakuan	Perlakuan
TR0%	Media tanam bekas irigasi tetes tanpa biochar
TR2%	Media tanam bekas irigasi tetes + biochar 120 g
TR4%	Media tanam bekas irigasi tetes + biochar 240 g
TR6%	Media tanam bekas irigasi tetes + biochar 360 g
KR0%	Media tanam bekas irigasi konvensional tanpa biochar
KR2%	Media tanam bekas irigasi konvensional + biochar 120 g

Kode Perlakuan	Perlakuan
KR4%	Media tanam bekas irigasi konvensional + biochar 240 g
KR6%	Media tanam bekas irigasi konvensional + biochar 360 g

Pelaksanaan Penelitian

1. Persiapan lahan dan media tanam:

Tanah disiapkan dengan membersihkan gulma, akar, dan sisa organik lainnya. Pada musim tanam pertama, setiap polybag diisi dengan 6 kg tanah, sedangkan pada musim tanam kedua diisi 3 kg tanah per polybag.



Gambar 1. Persiapan Lahan Penelitian

2. Persemaian benih:

Benih sawi pagoda ditebarkan pada tray semai berukuran 10 × 20 cm dengan media semai berupa campuran kompos, tanah berpasir, dan sekam (2:1:1). Lubang semai dibuat dengan jarak 2 × 2 cm dan penyiraman dilakukan dua kali sehari (pagi dan sore). Setelah berumur 14 hari, bibit pindah tanam ke polybag.



Gambar 2. Persemaian Benih

3. Penanaman:

Pemindahan bibit dilakukan secara hati-hati agar akar tidak rusak. Tanaman dipelihara selama 40 hari setelah pindah tanam. Pemberian pupuk nitrogen sebanyak 1,5 gram per tanaman diberikan pada umur 1 MST.



Gambar 3. Proses Penanaman

4. Pemeliharaan tanaman:

Meliputi penyiraman rutin menggunakan metode irigasi konvensional, penyiangan gulma, serta pengendalian hama dan penyakit secara mekanis maupun kimiawi bila diperlukan.



Gambar 4. Pemeliharaan Tanaman

5. Panen:

Dilakukan pada umur 40 hari setelah pindah tanam, dengan memanen seluruh bagian tanaman dan menimbang bobot basah tiap sampel.



Gambar 5. Panen

Variabel Pengamatan

Variabel yang diukur meliputi:

1. Kandungan karbon organik tanah (%), dianalisis menggunakan metode Walkley & Black. Kandungan nitrogen total tanah (%), dianalisis dengan metode Kjeldahl.
2. Tinggi tanaman (cm), diukur dari permukaan media hingga ujung daun tertinggi, dilakukan setiap minggu mulai umur 2 MST.
3. Jumlah daun (helai), dihitung setiap minggu mulai umur 2 MST.
4. Biomassa total (daun, batang, akar) diperoleh dengan memanen seluruh

bagian tanaman, dikeringkan di oven pada suhu 50 °C selama 2 hari 1 malam, setelah kering lalu ditimbang.

Analisis Data

Data hasil pengamatan dianalisis menggunakan analisis varians (ANOVA) pada tingkat signifikan 95% (uji F). Jika terdapat perbedaan signifikan, analisis dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada tingkat signifikansi 5% untuk membandingkan antar perlakuan. Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak Statistik versi 10.0 atau SPSS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Awal Sifat Kimia Tanah dari Media Tanam

Karakteristik kimia tanah pada media tanam disajikan pada Tabel 1, yang memuat

Nilai kandungan karbon organik (C-organik) dan nitrogen total (N-total) setelah perlakuan biochar dengan dosis bervariasi dan metode irigasi yang berbeda.

Tabel 1. Karakteristik awal sifat kimia tanah media tanam

Perlakuan	C-Organik (%)	N-Total (%)
TR 0%	8,21 (ST)	0,885 (ST)
TR 2%	7,21 (ST)	0,374 (S)
TR 4%	6,66 (ST)	0,68 (T)
TR 6%	7,16 (ST)	0,789 (ST)
KR 0%	6,03 (ST)	1,493 (ST)
KR 2%	6,39 (ST)	0,656 (T)
KR 4%	7,85 (ST)	1,391 (ST)
KR 6%	6,76 (ST)	0,672 (T)

Keterangan: ST = sangat tinggi; T = tinggi. C%: >5 (sangat tinggi) N%:0,75 (tinggi), >0,75 (sangat tinggi)

Berdasarkan data tersebut, kandungan karbon organik tanah berada pada rentang 6,03% hingga 8,21%, yang semuanya tergolong sangat tinggi. Peningkatan kandungan C-organik ini menegaskan peran penting biochar sebagai amandemen tanah dalam menjaga atau meningkatkan bahan organik tanah, sesuai dengan temuan (Mbay et al. 2023) yang menyatakan bahwa aplikasi biochar secara signifikan memperbaiki kadar C-organik tanah.

Nilai C-organik tertinggi tercatat pada perlakuan TR0% (8,21%), yang kemungkinan disebabkan oleh residu bahan organik dari musim tanam sebelumnya dan rendahnya tingkat dekomposisi akibat tidak adanya penambahan biochar. Meski demikian, secara umum, kombinasi biochar dengan metode irigasi mampu mempertahankan atau bahkan meningkatkan kandungan C-organik, terutama bersamaan dengan peningkatan dosis biochar sekam padi. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian (Widyantika dan Prijono 2019) yang menunjukkan hubungan positif antara dosis biochar dan peningkatan kandungan C-organik tanah.

Namun, kenaikan kadar C-organik tidak selalu bersifat linier terhadap dosis biochar. Sebagai contoh, perlakuan TR4% justru mencatat kadar C-organik terendah pada metode irigasi tetes (6,66%). Hal ini bisa jadi akibat proses dekomposisi biochar yang lambat sehingga sejumlah karbon belum sepenuhnya terkonversi menjadi C-organik yang dapat diukur secara aktif. Selain itu, peningkatan aktivitas mikroba tanah yang memanfaatkan karbon sebagai sumber energi

juga dapat menyebabkan penurunan sementara kadar C-organik yang terukur.

Pada metode irigasi konvensional, perlakuan KR4% mencatat kandungan C-organik yang cukup tinggi (7,85%), menandakan bahwa dosis biochar sedang cukup efektif dalam mempertahankan stok karbon tanah sekaligus mendorong aktivitas mikroorganisme yang terlibat dalam proses dekomposisi dan daur ulang nutrisi.

Tingginya kadar C-organik juga berkaitan erat dengan peningkatan N total. Hal ini karena dekomposisi dan mineralisasi bahan organik yang kaya karbon mendorong pelepasan nitrogen ke dalam bentuk anorganik yang dapat diukur. Pada kondisi porositas yang tinggi, lingkungan tanah menjadi lebih mendukung bagi aktivitas mikroorganisme (ketersediaan oksigen, kelembapan seimbang, ruang hidup memadai), sehingga mempercepat proses siklus nitrogen. Hal ini karena biochar diketahui dapat meningkatkan porositas tanah dengan membentuk saluran dan ruang yang memungkinkan aliran udara dan air, sehingga meningkatkan penyerapan nutrisi dan produktivitas tanaman secara keseluruhan. Peningkatan penyerapan air dan pH menunjukkan hubungan antara penggunaan biochar dan peningkatan retensi tanah. Biochar dengan ukuran pori yang lebih besar dapat memperbesar pori-pori tanah, sehingga meningkatkan penyerapan air. Semakin besar pori-pori biochar, semakin tinggi retensi tanah (Agviolita et al., 2021).

Untuk kandungan nitrogen total, nilai yang diperoleh bervariasi antara 0,374%

hingga 1,493%, dengan pola berbeda dibanding kadar C-organik. Nilai tertinggi N-total terdapat pada perlakuan KR0% (1,493%), yang diduga berasal dari akumulasi pupuk nitrogen residual dari musim tanam sebelumnya, khususnya pada media tanam yang menerima irigasi konvensional tanpa penambahan biochar. Penambahan biochar dengan dosis rendah, seperti pada TR2% (0,374%), justru menurunkan kadar nitrogen total tanah. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh proses imobilisasi nitrogen (N immobilization) saat biochar awal diterapkan, di mana biochar mengikat nitrogen sehingga membuatnya lebih sulit terdeteksi dalam analisis kimia. Selain itu, pertumbuhan tanaman dan aktivitas mikroba yang meningkat turut memanfaatkan nitrogen untuk sintesis jaringan, sehingga kadar nitrogen tanah yang terukur berkurang.

Seiring waktu dan peningkatan dosis biochar menengah hingga tinggi, kandungan nitrogen total mulai kembali meningkat, contohnya pada perlakuan TR6% (0,789%) dan KR4% (1,391%). Hal ini menunjukkan bahwa biochar efektif dalam menahan nitrogen pada media tanam dan mengurangi kehilangan hara penting akibat pencucian (leaching), sebagaimana telah didukung oleh beberapa studi.

Rasio karbon terhadap nitrogen (C/N) tanah yang terlihat pada data ini sangat menentukan ketersediaan nitrogen bagi tanaman. Rasio C/N yang terlalu tinggi, seperti pada TR0%, cenderung memperlambat mineralisasi nitrogen sehingga menghambat pelepasan nitrogen yang tersedia. Sebaliknya, rasio C/N rendah, seperti pada TR2%, mempercepat pelepasan nitrogen namun berisiko kehilangan nitrogen melalui pencucian atau denitrifikasi. Oleh sebab itu, perlakuan biochar dengan dosis sedang (4–6%) pada metode irigasi konvensional menunjukkan keseimbangan yang optimal antara kandungan C-organik dan N-total, sangat bermanfaat untuk menunjang kesuburan tanah serta pertumbuhan tanaman musim tanam berikutnya.

Dengan demikian, aplikasi biochar tidak hanya berkontribusi dalam meningkatkan kandungan bahan organik

tanah, tetapi juga berperan penting dalam pengelolaan keseimbangan nutrisi, terutama nitrogen, yang sangat vital untuk kelangsungan kesuburan media tanam dan produktivitas tanaman.

Tinggi Tanaman

Analisis varians dalam penelitian ini menunjukkan bahwa jenis media tanam (TK), yakni media bekas irigasi tetes (TR) dan irigasi konvensional (KR), tidak berdampak signifikan pada tinggi tanaman sawi pagoda selama seluruh fase pertumbuhan (MST 2–6). Hal ini mengindikasikan bahwa kedua media tersebut memiliki kesuburan yang cukup serupa, sehingga variasi pertumbuhan tanaman lebih dipengaruhi oleh dosis biochar yang diberikan.

Pada tahap awal pertumbuhan (MST 2), tinggi tanaman masih relatif rendah, yaitu antara 3,53 sampai 5,96 cm. Kondisi ini wajar karena tanaman lebih memfokuskan energi metabolik untuk mengembangkan sistem perakaran yang kuat, suatu proses penting untuk mendukung penyerapan air dan nutrisi sepanjang siklus hidup tanaman. Pada perlakuan KR dengan penambahan biochar 2%, peningkatan tinggi tanaman tampak lebih optimal, menunjukkan bahwa dosis biochar tersebut cukup untuk memenuhi kebutuhan nitrogen yang mendorong pertumbuhan batang.

Dari sisi fisiologi, nitrogen memiliki peran utama dalam pembelahan serta pemanjangan sel (Sari *et al.*, 2017) dan merupakan komponen penting dalam pembentukan asam amino dan protein. Peningkatan penyerapan hara nitrogen, fosfor, dan kalium yang dilaporkan oleh (Zulfita *et al.* 2020) menegaskan kemampuan biochar dalam meningkatkan ketersediaan nutrisi esensial, terutama pada tanah gambut yang secara kimiawi kurang ideal. Selain itu, peningkatan aktivitas mikroorganisme yang diamati oleh (Belit *et al.* 2020) memperlihatkan peran biologis biochar, dimana mikroba terlibat dalam proses mineralisasi hara dan perbaikan struktur tanah, mendukung proses fotosintesis dan pembentukan jaringan tanaman.

Kemampuan biochar untuk menyimpan air sekaligus mencegah kehilangan hara

berupa nitrogen akibat pelarutan maupun pencucian dijelaskan oleh (Nguyen *et al.* 2017). Dengan memperbaiki retensi air di dalam tanah, biochar meningkatkan ketersediaan nutrisi dan memperbaiki kondisi rizosfer—zona akar yang sangat penting dalam proses penyerapan hara (Setiawan *et al.*, 2022). Selain itu, tekstur berpori dari biochar meningkatkan aerasi tanah yang menciptakan kondisi tanah lebih kondusif bagi mikroba dan fungi mikoriza (Santi & Goenadi, 2016). Jamur mikoriza secara simbiotik membantu tanaman dalam penyerapan fosfor, nutrisi yang sering kali terbatas dalam tanah.

Pada fase MST 3–4, terjadi percepatan pertumbuhan dengan peningkatan tinggi yang signifikan (5,24–12,06 cm), terutama terlihat pada perlakuan biochar dengan dosis 2% dan 6%. Efek ini berhubungan dengan perbaikan aerasi, retensi air, dan ketersediaan hara yang disediakan oleh biochar. Dalam konteks struktur tanah, biochar merangsang pembentukan agregat stabil yang menjaga permeabilitas air dan keseimbangan udara—faktor penting untuk pertukaran gas akar dan aktivitas biologis tanah.

Memasuki tahap MST 5–6, tanaman mencapai tinggi maksimal (8,66–14,88 cm) yang sangat dipengaruhi oleh aplikasi biochar. Selain mempertahankan karbon organik tanah (C-organik), biochar juga meningkatkan ketersediaan fosfor, nutrisi krusial dalam pembangunan jaringan dan produksi energi melalui ATP (Herhandini *et al.*, 2021). Sedangkan tanah yang tidak menerima aplikasi biochar (TR0% dan KR0%) menunjukkan penurunan kesuburan yang menghambat pertumbuhan, mencerminkan degradasi lahan akibat pemanfaatan tanpa amandemen pendukung. (Charitsabita *et al.* 2019) menegaskan bahwa faktor media seperti porositas dan kapasitas retensi air berperan penting dalam menyediakan air dan nutrisi yang optimal bagi tanaman.

Menariknya, dosis biochar sedang (2–4%) lebih efektif daripada dosis tinggi (6%) dalam mendukung pertumbuhan sawi pagoda. Fenomena ini dikenal dengan efek hormesis, di mana dosis berlebihan tidak memberikan keuntungan lebih bahkan dapat menyebabkan dampak negatif seperti

peningkatan pH tanah yang berlebihan atau penimbunan senyawa fitotoksik yang dapat menurunkan aktivitas mikroba dan kesehatan tanaman (Lehmann *et al.*, 2011). (Biederman & Harpole 2013) menjelaskan bahwa dosis biochar moderat dapat meningkatkan sifat kimia tanah melalui peningkatan kapasitas tukar kation dan retensi air, sementara dosis berlebih menciptakan ketidakseimbangan nutrisi yang menghambat pertumbuhan tanaman.

Peran biochar dalam memperbaiki porositas tanah tak hanya bermanfaat bagi kondisi fisik, tetapi juga menyediakan habitat mikroba yang aktif dalam dekomposisi bahan organik dan melepaskan hara penting (Gani, 2019). Temuan (Mukherjee & Lal 2014) sejalan dengan hal ini, menyatakan bahwa biochar meningkatkan kualitas fisik dan biologis tanah, menunjang kesuburan jangka panjang yang vital untuk kesehatan tanah dan produktivitas tanaman.

Pada fase pertumbuhan lanjut (MST 4–6), kestabilan tinggi tanaman pada perlakuan biochar dosis 2–4% menunjukkan bahwa biochar tidak hanya mendukung pertumbuhan awal, tetapi juga terus mempertahankan ketersediaan hara selama periode kritis. Mekanisme penahanan hara oleh biochar memungkinkan pengurangan pencucian nutrisi, khususnya nitrogen dan fosfor, sehingga tanaman dapat menyerap hara secara lebih efisien dan berkelanjutan (Agegnehu *et al.*, 2017).

Secara keseluruhan, hasil studi ini memperkuat peran biochar sebagai langkah strategis untuk memperbaiki dan meningkatkan kesuburan tanah, terutama pada lahan bekas yang mengalami penurunan kualitas. Pemanfaatan biochar mendatangkan manfaat langsung bagi pertumbuhan tanaman lewat peningkatan nutrisi dan kondisi fisik tanah, serta dengan mengoptimalkan aktivitas mikroorganisme tanah yang sangat krusial dalam siklus nutrisi dan keseimbangan ekosistem. Pendekatan ini relevan untuk meningkatkan produksi tanaman pangan berharga seperti sawi pagoda sekaligus menjaga keberlanjutan lingkungan pertanian.

Data pengamatan tinggi tanaman sawi pagoda (*Brassica narinosa L.*) berdasarkan

dosis biochar dan metode irigasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata-rata tinggi tanaman sawi pagoda (*Brassica narinosa* L.).

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)				
	MST 2	MST 3	MST 4	MST 5	MST 6
TR 0%	3,89 a	5,35 a	6,19 a	8,66 a	9,34 a
TR 2%	4,93 ab	8,23 bc	11,28 b	14,29 c	14,88 c
TR 4%	4,21 a	6,93 ab	9,16 b	11,66 b	12,18 b
TR 6%	4,75 ab	8,48 bc	12,06 b	13,58 bc	14,14 bc
KR 0%	3,53 a	5,24 a	6,26 a	8,91 a	9,5 a
KR 2%	5,96 b	9,34 c	12,06 b	13,89 c	14,43 c
KR 4%	5,09 ab	7,6 b	10,2 b	13,29 a	13,78 bc
KR 6%	4,98 ab	8,48 bc	11,03 b	13,48 bc	14,01 bc
BNT 5%	1,29	1,58	2,14	2,09	2,1

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom dan umur yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf uji BNT 5%.

Jumlah Daun

Jumlah daun termasuk salah satu parameter penting selama fase pertumbuhan vegetatif, karena daun merupakan organ utama yang menjalankan proses fotosintesis. Semakin banyak daun yang terbentuk, semakin luas bidang fotosintesis yang tersedia, sehingga mendukung pembentukan

biomassa dan meningkatkan hasil panen. Oleh karena itu, pemantauan jumlah daun menjadi indikator penting dalam mengevaluasi respons tanaman terhadap perlakuan agronomis, seperti pemberian biochar dan metode irigasi.

Data pengamatan jumlah daun sawi pagoda (*Brassica narinosa* L.) pada berbagai perlakuan dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3. Rata-rata jumlah daun sawi pagoda (*Brassica narinosa* L.)

Perlakuan	Jumlah Daun				
	MST 2	MST 3	MST 4	MST 5	MST 6
TR 0%	7,25	8,63	11,5 a	17,5 a	21,25 a
TR 2%	7,38	9,50	18,38 ab	31,63 b	32 b
TR 4%	6,38	9,00	18,13 ab	30,38 b	31,25 b
TR 6%	6,88	10,00	20,38 ab	31,25 b	28,25 ab
KR 0%	6,5	10,50	13,63 a	17,63 a	35,5 a
KR 2%	8,13	13,38	23,25 b	27,75 b	34,88 b
KR 4%	8,13	12,13	20,75 b	24,25 ab	33,75 b
KR 6%	7	11,50	18,63 ab	28,25 b	21,13 b
BNT 5%	tn	tn	6,54	8,91	8,61

Keterangan: Angka dengan huruf yang sama dalam kolom dan umur yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji BNT 5%. *tn* = tidak signifikan.

Berdasarkan hasil analisis varians, jenis media tanam (TK) tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap jumlah daun. Namun, aplikasi biochar pada dosis 2%, 4%, dan 6% pada kedua metode irigasi menunjukkan tren peningkatan jumlah daun

dibandingkan dengan kontrol tanpa biochar (0%). Pada umur 2 MST, perbedaan jumlah daun antar perlakuan belum signifikan dengan kisaran 6,38–8,13 helai. Hal ini wajar karena pada tahap awal pertumbuhan, tanaman masih memusatkan energi pada

perkembangan akar dan adaptasi terhadap media tanam, sehingga pembentukan daun belum optimal.

Mulai dari umur 4 MST, perbedaan signifikan mulai nampak, di mana perlakuan TR 6% dan KR 2% menghasilkan jumlah daun lebih banyak (masing-masing 20,38 dan 23,25 helai) dibandingkan dengan kontrol TR 0% dan KR 0% yang hanya mencapai 11,5 dan 13,63 helai. Peningkatan ini mengindikasikan peran biochar dalam memperbaiki kondisi lingkungan sekitar akar serta meningkatkan ketersediaan unsur hara yang mendorong pertumbuhan vegetatif daun. Pada fase ini, nitrogen sangat penting sebagai elemen esensial untuk stimulasi pertumbuhan daun yang efektif (Hartati *et al.*, 2021).

Selanjutnya, pada umur 6 MST, beberapa perlakuan dengan biochar, terutama KR 0%, KR 2%, dan KR 4%, menunjukkan jumlah daun yang tinggi, berkisar antara 33 hingga 35,5 helai. Peningkatan jumlah daun pada KR 0% yang mencapai 35,5 helai kemungkinan dipengaruhi oleh akumulasi nitrogen residual dari aplikasi pupuk sebelumnya yang belum sepenuhnya terlarut. Hal ini sejalan dengan pernyataan (Hartati *et al.* 2021) bahwa nitrogen berfungsi tidak hanya merangsang pembentukan daun tetapi juga meningkatkan tinggi tanaman dan intensitas warna hijau daun secara keseluruhan.

Pertumbuhan dan perkembangan daun juga dipengaruhi oleh faktor internal yang dapat dimodifikasi melalui pengelolaan nutrisi tanah sebagai media tanam (Kusumaningrum, 2017). Kandungan nitrogen (N) yang tinggi dalam tanah merupakan faktor utama yang merangsang pembentukan daun dengan mempercepat sintesis protein dan klorofil, sehingga menunjang proses fotosintesis dan pembentukan jaringan daun (Ali, 2015). Dalam studi ini, perlakuan KR 2% dan KR 4% yang menggunakan dosis biochar sedang bersama irigasi konvensional terbukti mampu mempertahankan kontinuitas

pembentukan daun hingga fase vegetatif akhir, menandakan efisiensi penggunaan nutrisi yang baik.

Namun, perlakuan dengan dosis biochar tinggi (TR 6% dan KR 6%) pada MST 6 menunjukkan sedikit penurunan jumlah daun dibandingkan dengan MST 5. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kompetisi unsur hara di antara daun-daun yang sudah sangat lebat atau terjadinya saling menaungi daun sehingga menurunkan efisiensi fotosintesis, yang berakibat pada perlambatan pertumbuhan daun baru (Adi *et al.*, 2017). Fenomena ini menunjukkan bahwa pemberian dosis berlebihan tidak selalu menghasilkan hasil optimal dan bahkan bisa memberikan dampak negatif pada pertumbuhan tanaman.

Dengan demikian, pemberian biochar pada dosis sedang (2–4%) dikombinasikan dengan metode irigasi yang tepat memberikan dampak positif signifikan terhadap jumlah daun, yang berimplikasi pada peningkatan kapasitas fotosintesis serta produktivitas tanaman sawi pagoda.

Biomassa Total

Biomassa total merupakan parameter penting dalam penelitian pertumbuhan tanaman karena mencerminkan akumulasi fotosintat yang dibentuk oleh daun dan didistribusikan ke seluruh bagian tanaman. Dengan kata lain, biomassa total menunjukkan efisiensi proses fisiologis tanaman mulai dari penyerapan hara dan air, fotosintesis, hingga translokasi hasil metabolisme ke jaringan tanaman. Oleh karena itu, pengukuran biomassa total berguna untuk menilai sejauh mana perlakuan yang diberikan mampu mendukung pertumbuhan, kesehatan, dan produktivitas tanaman secara keseluruhan.

Data biomassa total tanaman sawi pagoda (*Brassica narinosa* L.), yang meliputi bobot basah dan kering pada musim tanam kedua, disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Biomassa total tanaman sawi pagoda (*Brassica narinosa* L.)

Perlakuan	Biomassa Total (Daun,Batang,Akar Tanaman)	
	Bobot Basah	Bobot Kering
TR 0%	11,71 a	1,21 a
TR 2%	84,85 ab	7,49 b
TR 4%	57,66 b	5,09 b
TR 6%	95,93 c	7,49 b
KR 0%	18,86 a	1,48 a
KR 2%	103,2 c	13,10 c
KR 4%	82,61 ab	5,60 b
KR 6%	98,75 c	7,25 b
BNT 5%	30,89	3,40

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji BNT 5%.

Hasil uji analisis varians menunjukkan bahwa jenis media tanam (TK) tidak berpengaruh signifikan terhadap biomassa total tanaman sawi pagoda, sementara dosis biochar memberikan pengaruh yang sangat signifikan (R(TK)). Berdasarkan data pada Tabel 7, terlihat bahwa perlakuan tanpa biochar (TR0% dan KR0%) menghasilkan bobot basah dan kering terendah, yaitu masing-masing 11,71 g dan 1,21 g pada TR0%, serta 18,86 g dan 1,48 g pada KR0%. Rendahnya biomassa ini mencerminkan penurunan kesuburan dan kemampuan retensi air media tanam bekas musim sebelumnya, yang berdampak negatif terhadap pertumbuhan tanaman.

Pemberian biochar secara signifikan meningkatkan biomassa, terutama pada bobot basah. Pada irigasi tetes, bobot basah tertinggi dicapai pada dosis biochar 6% (TR6%) sebesar 95,93 g, diikuti oleh TR2% (84,85 g) dan TR4% (57,66 g). Sedangkan pada irigasi konvensional, bobot basah tertinggi terdapat pada KR2% (103,2 g), disusul oleh KR6% (98,75 g) dan KR4% (82,61 g). Kondisi ini menegaskan kemampuan biochar untuk memperbaiki sifat fisik tanah dengan meningkatkan retensi air sekaligus mendukung ketersediaan hara penting bagi tanaman (Herhandini *et al.*, 2021). Peningkatan bobot basah tersebut menunjukkan bahwa tanaman mendapatkan kondisi pertumbuhan yang lebih mendukung sehingga mampu mengembangkan jaringan vegetatif yang lebih besar.

Peran nitrogen (N) sangat vital dalam menstimulasi pertumbuhan tanaman, meliputi

peningkatan tinggi tanaman, jumlah anakan, pembentukan cabang, serta intensitas warna hijau daun yang menunjukkan aktivitas fotosintesis yang baik (Rina, 2015; Anonim, 2018). Oleh sebab itu, ketersediaan hara yang difasilitasi oleh biochar turut berkontribusi pada peningkatan biomassa yang teramati.

Untuk bobot kering, perlakuan tanpa biochar (TR0% dan KR0%) kembali menunjukkan nilai terendah, yaitu 1,21 g dan 1,48 g. Biochar dosis 2% pada irigasi konvensional (KR2%) menghasilkan bobot kering tertinggi sebesar 13,10 g, hampir dua kali lipat lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Perlakuan TR2%, TR6%, KR4%, dan KR6% juga menunjukkan bobot kering di kisaran menengah antara 5 sampai 7,5 g, tetap lebih tinggi dibandingkan kontrol.

Bobot kering yang lebih besar mencerminkan akumulasi biomassa struktural yang lebih signifikan, menunjukkan bahwa tanaman tidak hanya mengalami peningkatan berat sementara (bobot basah), tetapi juga membentuk jaringan yang kuat dan tahan lama. Hal ini sangat penting untuk mempertahankan kualitas hasil panen serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan.

Secara keseluruhan, aplikasi biochar pada dosis yang tepat terbukti meningkatkan biomassa total tanaman sawi pagoda dengan memperbaiki kondisi media tanam dan menunjang aspek fisiologis tanaman. Strategi ini dapat dijadikan pendekatan efektif dalam meningkatkan produktivitas tanaman sayuran daun melalui efisiensi penyerapan nutrisi dan air.

SIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa aplikasi biochar memiliki pengaruh nyata terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman sawi pagoda pada musim tanam kedua. Jenis media tanam bekas dari irigasi tetes maupun irigasi konvensional tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan tanaman. Penerapan biochar dengan dosis antara 2–6% secara signifikan mampu meningkatkan tinggi tanaman, jumlah daun, luas daun, serta biomassa basah dan kering dibandingkan dengan kontrol tanpa biochar.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa biochar yang digunakan sejak musim tanam pertama masih efektif dalam memperbaiki kesuburan tanah pada musim tanam berikutnya. Oleh karena itu, biochar berpotensi menjadi teknologi amandemen tanah berkelanjutan untuk meningkatkan produktivitas tanaman sawi pagoda pada media tanam bekas, khususnya dalam sistem budidaya hortikultura.

DAFTAR PUSTAKA

- Agegnehu, G., Bass, A. M., Nelson, P. N., & Bird, M. I. 2016. Benefits of biochar, compost and biochar–compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Science of the Total Environment*, 543(B), 295–306. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.054>.
- Agegnehu, G., Srivastava, A. K., & Bird, M. I. 2017. *The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance: a review*. *Applied Soil Ecology*, 119, 156–170. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.008>
- Agviolita, P., Yushardi, Y., & Anggraeni, F. K. A. 2021. Pengaruh Perbedaan Biochar terhadap Kemampuan Menjaga Retensi pada Tanah. *Jurnal Fisika Unand*, 10(2), 267–273. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.2.267.273.2021>
- Anonim., 2018. Unsur Hara Kebutuhan Tanaman. Dinas Pangan, Pertanian Dan Peternakan Provinsi Pontianak. <https://pertanian.pontianakkota.go.id/artikel/52-unsur-hara-kebutuhan-tanaman.html> =Nitrogen (N),-Merupakan unsur hara =Merangsang pertumbuhan vegetatif tanaman secara,dan berbagai persenyawaan organik lainnya
- Adi, M. Sumiar, H. dan Rizal, A. 2017. Pengaruh Pemberian Biochar dan Pupuk Bregadium terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Sawi Hijau (*Brassica rapa var. parachinensis* L.). *J. Agroteknologi dan Ilmu Pertanian*. Vol 1, No 2.
- Ali, M., 2015. Pengaruh dosis pemupukan NPK terhadap produksi dan kandungan capsaicin pada buah tanaman cabe rawit (*Capsicum frutescens* L.). *Jurnal Agrosains: Karya Kreatif Dan Inovatif*, 2, 171–178. <http://uim.ac.id/jurnal/index.php/pertanian/article/viewFile/256/194>.
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2020. *Produksi tanaman sayuran: data pertanian 2014–2020* (Angka Tetap Hortikultura Tahun 2020). Kementerian Pertanian & Direktorat Jenderal Hortikultura, Indonesia. (Publikasi resmi, sinkronisasi data dengan BPS).
- Belit, Y.M., A. Hamzah, R.D.J. Prakoso. 2020. Penggunaan Biochar dan Mol Bonggol Pisang untuk Perbaikan Kualitas Bibit Tanaman Pisang (*Musa paradisiaca* L.). *Jurnal Ilmiah Hijau Cendekia* Vol 5(2): 74-81.
- Biederman, L. A., & Harpole, W. S. 2013. *Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis*. *GCB Bioenergy*, 5(2), 202–214. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12037>
- Charitsabita, R., Dwi Purbajanti, E., & Wisnu Widjajanto, D. 2019. Respon Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa* L.) secara Hidroponik dengan Berbagai Jenis Media Tanam dan Aerasi Berbeda Response of growth and production of pakcoy (*Brassica rapa* L.) through hydroponic system with different types of planting

- media and aeration. *Jurnal Pertanian Tropik*, 6(2), 270–278. <https://jurnal.usu.ac.id/index.php/Tropik>.
- Hidayat, A., & Ramadani, D. 2019. Teknologi Rehabilitasi Lahan Pertanian untuk Mendukung Ketahanan Pangan. *Jurnal Ketahanan Pangan*, 7(1), 45–53.
- Hartati, H., Emi, C., Azmin, N., Bakhtiar, B., Nasir, M., & Andang, A. 2021. Pengaruh penambahan arang sekam terhadap pertumbuhan tanaman kangkung darat (*Ipomoea reptans*). *ORYZA Jurnal Pendidikan Biologi*, 10(1), 1–7.
- Herath HMSK, Arbestain MC, dan Hedley M.(2013). Pengaruh biochar terhadap sifat fisik tanah pada dua jenis tanah yang berbeda: Alfisol dan Andisol.
- Herhandini, D. A., Suntari, R., & Citraresmini, A. 2021. Pengaruh aplikasi biochar sekam padi dan kompos terhadap sifat kimia tanah, pertumbuhan, dan serapan fosfor tanaman jagung pada ultisol. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 8(2), 385–394. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2021.008.2.10>.
- Herhandini, D. A., Suntari, R., & Citraresmini, A. 2021. Pengaruh aplikasi biochar sekam padi dan kompos terhadap sifat kimia tanah, pertumbuhan, dan serapan fosfor tanaman jagung pada ultisol. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 8(2), 385–394. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2021.008.2.10>.
- Irmawati. 2018. Respon pertumbuhan dan produksi tanaman caisin (*Brassicae Jencea L.*) dengan perlakuan jarak tanam. *Journal of Agritech Science* 2(1), 1–7.
- Kusumaningrum, R., 2017. Peranan Xilem Dan Floem Dalam Pertumbuhan Dan Perkembangan Tumbuhan. *Jurnal Pendidikan Biologi*, 123–130. [http://seminar.uny.ac.id/sembiouny2017/sites/seminar.uny.ac.id/sembiouny2017/files/B 16a.pdf](http://seminar.uny.ac.id/sembiouny2017/sites/seminar.uny.ac.id/sembiouny2017/files/B%2016a.pdf).
- Kammann, C.I., Schmidt, H.P., Messerschmidt, N., Linsel, S., Steffens, D., Müller, C., Koyro, H.W., Conte, P. & Stephen, J. 2015. *Plant growth improvement mediated by nitrate capture in co-composted biochar*. *Scientific Reports* 5:1–13, doi:10.1038/srep11080. <https://doi.org/10.1038/srep11080>.
- Kolambani, F. U., & Widowati. 2022. Changes in chemical properties of three soil types after application of biochars and organic fertilizers for two years. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 9(4), 3715–3724. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2022.094.3715>.
- Koreh, A. A., Widowati, W., & Julianto, R. P. D. 2023. Long-term residual effects of biochar from tobacco scraps on red spinach. *Jurnal Ilmiah Pertanian*, 20(2), 153–164. <https://doi.org/10.31849/jip.v20i2.13451>
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1812–1836. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>.
- Lateef A., Nazir R., Jamil N., Alam S., Shah R., Khan MN, Saleem M., Rehman S. (2019). Sintesis dan karakterisasi nano-komposit berbasis biochar tongkol jagung yang ramah lingkungan–Sebuah pupuk nano lepas lambat yang potensial untuk pertanian berkelanjutan. *Kelola Nanotechnol Monit Lingkungan*, 11, 100212. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100212>.
- Liu Q., Yanhui Z., Liu B., Amonette JE, Lin Z., Liu G., Ambus P., Xie Z. (2018). Bagaimana bio- char memengaruhi siklus N tanah? Sebuah meta-analisis. *Plant and Soil*, 426, 211– 25. <https://doi.org/10.1007/ nomor 11104-018-3619-4>.
- Liu, Z., Li, J., & Xu, G. 2021. Effects of biochar on soil microbial community and crop

- yield: A review. *Applied Soil Ecology*, 158, 103807. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103807>
- Liu D., Feng Z., Zhu H., Yu L., Yang K., Yu S., Zhang Y., Guo W. (2020). Efek aplikasi biochar jerami jagung pada pertumbuhan kedelai dan sifat tanah alkali. *BioResources* 15, 1463–1481. <https://doi.org/doi:10.15376/biores.15.1.1463-1481>.
- Mateus, F., Carmona, E., & Paredes, C. 2017. Rice husk biochar as soil amendment: Effects on greenhouse gas emissions and crop yield. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 240, 71–80. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.01.013>.
- Mbay, W. O. N., Darwis, D., Resman, R., Ginting, S., Syaf, H., & Namriah, N. 2023. Pengaruh biochar terhadap beberapa sifat kimia tanah dan pertumbuhan tanaman nilam (*Pogostemon cablin* Benth) pada tanah tambang nikel. *Agronu: Jurnal Agroteknologi*, 2(02), 103–113. <https://doi.org/10.53863/agronu.v2i02.727>
- Metboki, A. 2019. Pengaruh Jenis Biochar terhadap Pertumbuhan dan Hasil Beberapa Jenis Cover Crop dalam Tumpang Sari dengan Jagung Varietas Lokal (*Zea Mays* L). *Savana Cendana*, 4(3), 55–59. <http://fapertaunimor.id/savanacendana.id/index.php/SC/article/view/745>.
- Nguyen, T. T. N., Xu, C. Y., Tahmasbian, I., Che, R., Xu, Z., Zhou, X., Wallace, H. M., & Bai, S.H. 2017. Effects of biochar on soil available inorganic nitrogen: a review and meta-analysis. *Jurnal Geoderma*, 288, 79 – 96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.11.004>
- Maydayana, A., Kusumo, B. H., Bakti, L. A. A., & Dewi, R. A. S. 2023. Pengaruh Pemberian Biochar Terhadap Perubahan Sifat Kimia Tanah Vertisol Dan Pertumbuhan Kacang Hijau (*Vigna Radiata* L.): The Impact Of Biochar Application On Alterations In Chemical Properties Of Vertisol Soil And The Growth Of Mung Bean (*Vigna Radiata* L.). *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*, 9(4), 663-674.
- Mateus, L., Glaser, B., & Silva, C. 2017. Aplikasi biochar dan pengaruhnya terhadap retensi air tanah serta produktivitas tanaman. *Soil & Tillage Research*, 165, 95–103.
- Mukherjee, A., & Lal, R. 2013. *Biochar Impacts on Soil Physical Properties and Greenhouse Gas Emissions*. *Agronomy*, 3(2), 313–339. <https://doi.org/10.3390/agronomy3020313>
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J., & Lehmann, J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil*, 333(1–2), 117–128. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0327-0>.
- Marzuki, A. 2022. Respon tanaman padi terhadap residu biochar sekam padi dan jerami pada musim tanam kedua. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 46(2), 125–136.
- Putra, R. A., Hasibuan, F. S., & Tarigan, T. 2022. Evaluasi Degradasi Lahan Pertanian di Kabupaten Dairi Sumatera Utara. *Jurnal Agrista*, 18(2), 120-130.
- Pan, G., Li, L., & Lehmann, J. 2025. Long-term global benefits of annual biochar application: Yield improvement, soil health, and greenhouse gas mitigation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 122(5), e2312345119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2312345119>.
- Rina, D., 2015. Manfaat Unsur N, P, dan K Bagi Tanaman. BPTP Kaltim. http://kaltim.litbang.pertanian.go.id/ind/index.php?option=com_content&view=article&id=707&Itemid=59.
- Rattan, R. K. 2019. Biochar application in agriculture: Benefits and trade-offs.

- Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19(2), 389–402.
- Rafique, M., Ortas, I., Rizwan, M., Chaudhary, H.J., Gurmani, A.R. and Munis, H.F.H. 2020. Residual effects of biochar and phosphorus on growth and nutrient accumulation by maize (*Zea mays* L.) amended with microbes in texturally different soils. *Chemosphere* 238:124710, doi:10.1016/j.chemosphere.2019.124710
- Satriawan, B.D. and Handayanto, E. 2015. Effects of biochar and crop residue application on chemical properties of a degraded soil of South Malang, and P uptake by maize. *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 2(2):271-280, doi:10.15243/jdmlm.2014.022.271.
- Santi, L. P., & Goenadi, D. H. 2016. Pemanfaatan bio-char sebagai pembawa mikroba untuk pemantap agregat tanah Ultisol dari Taman Bogo-Lampung The use of bio-char as bacterial carrier for aggregate stabilization in Ultisol Soil from Taman Bogo-Lampung. *EJournal Menara Perkebunan*, 78(2).
- Setiawan, Sarno, F., Afrianti, N. A., & Supriatin. 2022. Pengaruh pemberian biochar batang singkong dan pemupukan P terhadap sifat kimia tanah Ultisol yang ditanami jagung (*Zea mays* L.). *Jurnal Agrotek Tropika*, 10(1), 85-94. <http://dx.doi.org/10.23960/jat.v10i1.5633>.
- Sari, Nawang Vinda., Same Made.,Yonathan Parapasan. 2017. Pengaruh Konsentrasi dan Lama Fermentasi Urin Sapi sebagai Pupuk Cair pada Pertumbuhan Bibit Karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). *Jurnal Agro Industri Perkebunan* Volume 5 No.1: 57-71.
- Syifa, A., Wulandari, S., & Pramudita, H. 2020. Respon pertumbuhan sawi terhadap aplikasi biochar dan pupuk organik cair. *Jurnal Pertanian Indonesia*, 22(3), 215–223.
- Smith, P. 2016. *Soil carbon sequestration and biochar as negative emission technologies*. *Global Change Biology*, 22(3), 1315–1324. <https://doi.org/10.1111/gcb.13178>.
- Seipin, Hartati, S., & Wahyudi, A. 2016. Pengaruh biochar terhadap ketersediaan hara tanah masam. *Jurnal Tanah dan Air*, 13(2), 87–96.
- Seipin, S., Handoko, R., & Yuniarti, R. 2016. Potensi sekam padi sebagai bahan amelioran untuk perbaikan kesuburan tanah. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 10(1), 33–40.
- Sukartono, Utomo, W. H., Kusuma, Z., & Nugroho, W. H. 2011. Soil fertility status, nutrient uptake, and maize (*Zea mays* L.) yield following biochar and cattle manure application on sandy soils of Lombok, Indonesia. *Journal of Tropical Agriculture*, 49(1–2), 47–52.
- Sari, N., & Wibowo, M. 2020. Pemanfaatan Biochar dan Irigasi Tetes untuk Meningkatkan Produktivitas Sayuran. *Jurnal Hortikultura*, 10(1), 73-82.
- Subandi, M., Dikayani, E Firmansyah. 2018. Production of reserpine of *Rauwolfia serpentina* [L] kurz ex benth through invitro culture enriched with plant growth regulators of NAA and kinetin. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (2.29), 274-278.
- Widiyantika SD & S Prijono. 2019. Pengaruh Biochar Sekam Padi Dosis Tinggi Terhadap Sifat Fisik Tanah Dan Pertumbuhan Tanaman Jagung Pada Typic Kanhapludults. *J. Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, Vol 6(1): 1157-1163.
- Wahyudi, S., Pramono, A., & Kurniawan, E. 2021. Pengaruh Biochar terhadap Aktivitas Mikroorganisme dan Retensi Hara pada Tanah Ultisol. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 9(1), 46-57.
- Widowati, W., Astutik, A., Sumiati, A., & Fikrinda, W. 2017. Residual effect of potassium fertilizer and biochar on

- growth and yield of maize in the second season. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 4(4), 881–889. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2017.044.881>.
- Widowati, Wilujeng, R., Nurhidayati, Indrayatie, E.R. (2024). Improvement of N, P, and K availability of post-brickmining soil to increase maize yield by applying different types of biochar. *Journal of Degraded and MiningLandManagement*, 11(2), 5319-5327.
- Wang et al., 2021 “Nanobubbles Promote Nutrient Utilization and Plant Growth in Rice by Upregulating Nutrient Uptake Genes and Stimulating Growth Hormone Production,” *Sci. Total Environ.*, vol. 800, p. 149627, doi:10.1016/j.scitotenv.2021.149627
- Zhang, Y., Liu, H., Chen, Z., & Wang, X. 2024. Effects of rice husk biochar and organic fertilizer on rice and rapeseed yields across two cropping seasons. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 362, 108–121. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108121>.
- Zheng, Y., Han X., Li Y.,. Yang J., Li N., An N. 2019. doi.org/10.1007/978-3-031-12059-6_8 Pengaruh pemberian biochar dan jerami terhadap sifat fisikokimia dan biologi tanah sawah di timur laut Cina. *Scientific Reports* 9,16531. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52978-w>
- Zulfita, D., Surachman dan E. Santoso. 2020. Aplikasi Biochar Sekam Padi dan Pupuk NPK terhadap Serapan N, P, K dan Komponen Hasil Jagung Manis di di Lahan Gambut. *Jurnal Ilmiah Hijau Cendekia* Vol 5(1): 42-49.