

Penggunaan Biochar Limbah Kelapa Muda dan Kompos terhadap Produktivitas Kedelai

Mawardiana, Karnilawati^{*}, Sri Handayani

Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Jabal Ghafur, Sigli, Indonesia.

Jl. Gle Gapui, Peutoe, Sigli, Kabupaten Pidie, Aceh 24182, Indonesia.

^{*}Correspondence author: karnilawati@unigha.ac.id

Abstrak

Limbah kelapa muda merupakan salah satu biomassa yang melimpah, namun pemanfaatannya belum optimal. Limbah ini berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan biochar. Aplikasi biochar dari limbah kelapa muda dapat memperbaiki kondisi tanah pertanian serta meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman. Di sisi lain, kompos merupakan salah satu jenis pupuk organik yang dapat dikombinasikan dengan biochar. Namun, penggunaan kombinasi biochar dan kompos pada tanaman kedelai masih jarang dilaporkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian biochar limbah kelapa muda dan kompos terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman kedelai. Penelitian dilaksanakan di Indra Jaya, Pidie, pada bulan Agustus hingga November 2023. Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) secara Faktorial, dengan dua faktor yaitu biochar limbah kelapa muda (B) dan kompos (K). Biochar terdiri atas tiga taraf: B0 = tanpa biochar (kontrol), B1 = 5 t ha⁻¹, dan B2 = 10 t ha⁻¹; sedangkan kompos juga terdiri atas tiga taraf: K0 = tanpa kompos (kontrol), K1 = 5 t ha⁻¹, dan K2 = 10 t ha⁻¹. Peubah yang diamati meliputi jumlah cabang, tinggi tanaman, umur berbunga, berat biji per tanaman, berat 100 butir biji, dan jumlah polong per tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah cabang tanaman kedelai meningkat sebesar 16,77% pada pemberian biochar dosis 10 t ha⁻¹ dibandingkan tanpa biochar, dan meningkat sebesar 10,42% pada pemberian kompos dosis 10 t ha⁻¹ dibandingkan tanpa kompos. Selain itu, berat 100 butir biji kedelai meningkat sebesar 10,83% pada pemberian biochar dosis 10 t ha⁻¹ dibandingkan perlakuan tanpa biochar.

Kata kunci: Biochar, limbah kelapa muda, kedelai, kompos, produktivitas.

Utilization of Young Coconut Waste Biochar and Compost on Soybean Productivity

Abstract

Young coconut waste is one of the abundant biomass materials, yet its utilization remains suboptimal. This waste has the potential to be used as a raw material for biochar production. The application of biochar from young coconut waste can improve soil conditions in agricultural land and enhance plant growth and yield. On the other hand, compost is an organic fertilizer that can be combined with biochar. However, the combined use of biochar and compost on soybean plants has rarely been reported. This study aimed to determine the effect of young coconut waste biochar and compost on the growth and yield of soybean. The research was conducted in Indra Jaya, Pidie, from August to November 2023. A Factorial randomized complete block design (RCBD) was used with two factors: young coconut waste biochar (B) and compost (K). The biochar was applied at three levels: B0 = no biochar (control), B1 = 5 t ha⁻¹, and B2 = 10 t ha⁻¹. Compost was also applied at three levels: K0 = no compost (control), K1 = 5 t ha⁻¹, and K2 = 10 t ha⁻¹. The observed variables included the number of branches, plant height, flowering age, seed weight per plant, weight of 100 seeds, and number of pods per plant. The results showed that the number of soybean branches increased by 16.77% with the application of 10 t ha⁻¹ biochar compared to no biochar, and increased by 10.42% with the application of 10 t ha⁻¹ compost compared to no compost. Additionally, the weight of 100 soybean seeds increased by 10.83% with 10 t ha⁻¹ biochar application compared to the control.

Keywords: Biochar, young coconut waste, soybean compost, productivity.

Received: 26 September 2024; **Revised:** 08 Desember 2024; **Accepted:** 22 April 2025

PENDAHULUAN

Kedelai merupakan komoditas pangan utama di Indonesia setelah padi yang menempati urutan pertama (BPS, 2024). Tingginya permintaan kedelai mendorong para petani untuk membudidayakannya di berbagai daerah di seluruh Indonesia. Pada tahun 2022, produksi kedelai nasional mencapai 15,43 ku/ha (Iverson & Dervan, 2022).

Pada tahun 2025, kebutuhan kedelai nasional diperkirakan mencapai 2,8 juta ton, sementara ketersediaan yang ada hanya sekitar 555.000 ton. Kondisi ini menunjukkan bahwa Indonesia masih mengalami defisit produksi kedelai dalam jumlah yang cukup besar. Salah satu penyebab rendahnya produksi kedelai adalah tingkat kesuburan tanah yang kurang optimal, sehingga petani terpaksa menggunakan pupuk kimia dalam jumlah tinggi untuk meningkatkan hasil produksi (Das *et al.*, 2023). Namun, penggunaan pupuk kimia secara berlebihan tidak hanya menambah beban biaya bagi petani, tetapi juga berpotensi menurunkan kesuburan tanah dalam jangka panjang (Pahalvi *et al.*, 2021).

Untuk mengatasi permasalahan rendahnya kesuburan tanah dan tingginya ketergantungan terhadap pupuk kimia, diperlukan alternatif yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis. Salah satu solusi yang potensial adalah pemanfaatan biochar. Di Aceh, konsumsi kelapa muda terus meningkat seiring dengan kondisi cuaca yang semakin panas, yang secara tidak langsung menyebabkan peningkatan jumlah limbah kelapa muda di berbagai lokasi penjualan. Limbah ini umumnya hanya ditumpuk dan dibiarkan mengering tanpa pemanfaatan yang berarti. Padahal, limbah kelapa muda memiliki potensi untuk dijadikan sebagai bahan baku biochar yang dapat memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas tukar kation, serta mendukung pertumbuhan tanaman secara berkelanjutan (Wibowo *et al.*, 2019).

Pemanfaatan limbah pertanian sebagai bahan baku biochar semakin digencarkan di Indonesia, mengingat manfaatnya yang signifikan bagi pertanian jika dibandingkan dengan hanya dibuang begitu saja (Amalina *et al.*, 2022). Salah satu limbah yang melimpah namun belum dimanfaatkan secara optimal adalah limbah kelapa muda. Setelah diolah menjadi biochar, limbah ini terbukti memiliki potensi besar dalam meningkatkan kualitas tanah pertanian (Herviyanti *et al.*, 2020; Thivaly *et al.*, 2024).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kombinasi biochar dan kompos pada tanaman bawang mampu meningkatkan jumlah daun, kandungan klorofil ($34,3 \text{ mol/m}^2$), tinggi dan lebar daun, bobot tanaman, kandungan bahan organik tanah (10,25%), serta karbon organik tanah (5,95%) (Japakumar *et al.*, 2021). Studi lain melaporkan bahwa rata-rata hasil panen tanaman pangan dapat meningkat sebesar 10–42% dengan penambahan biochar. Peningkatan ini terutama terjadi pada tanah berpasir dan tanah masam yang memiliki kandungan hara fosfor (P) yang rendah (Y. Jiang *et al.*, 2024; Joseph *et al.*, 2021).

Penelitian oleh Herviyanti *et al.* (2020) menunjukkan bahwa penambahan 2% biochar dari limbah kelapa muda pada tanaman dapat meningkatkan pH tanah, serta menurunkan kadar karbon organik, fosfor tersedia, aluminium, dan kapasitas tukar kation (KTK) masing-masing sebesar 1,70 ppm, 0,99%, dan 9,12 cmol/kg (Herviyanti *et al.*, 2020). Selain itu, pencampuran biochar dengan kompos terbukti efektif dalam meningkatkan hasil produksi tanaman pangan, seperti pada anggur, yang menunjukkan peningkatan keasaman sebesar 9%, berat anggur 16%, dan diameter anggur 9% (Sharifi & Hajiaghaei-Kamrani, 2023; Sanchez-Monedero *et al.*, 2019).

Penelitian lain oleh Sajar *et al.* (2024) menunjukkan bahwa kombinasi biochar dari kulit jengkol dengan pupuk kandang ayam berpengaruh positif terhadap pertumbuhan tanaman kedelai, termasuk peningkatan diameter batang, jumlah polong, berat biji, dan berat kering biji (Sajar *et al.*, 2024). Jaya dan Baharudin (2014) juga melaporkan bahwa pemberian biochar dari tembakau, sekam padi, dan tempurung kelapa yang dikombinasikan dengan nitrogen dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman kedelai (Jaya dan Baharudin, 2014).

Pemberian biochar dari arang sekam padi sebanyak 20% dan bioaktivator bonggol pisang menunjukkan peningkatan jumlah daun dan tinggi tanaman yang signifikan (Amanda & Ajiningrum, 2023). Penambahan biochar sekam padi juga dilaporkan menghasilkan pertumbuhan dan hasil terbaik pada semua varietas kedelai yang diuji, dibandingkan perlakuan tanpa biochar (Putra, 2023). Selain itu, Khadori (2023) melaporkan bahwa pemberian biochar pupuk kandang ayam 5 t ha^{-1} dan cangkang sawit 10 t ha^{-1} dapat meningkatkan produksi kedelai sebesar 28,66% (Khadori, 2023).

Panjaitan *et al.* (2023) menemukan bahwa kombinasi tanah + vermikompos + biochar dengan dosis 64% + 25% + 11% dapat meningkatkan jumlah daun, jumlah polong, jumlah polong berisi, serta mempercepat umur berbunga tanaman kedelai (Panjaitan *et al.*, 2023). Pemberian biochar juga terbukti dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan sifat fisiologis tanaman alfalfa, bayam, dan jagung dalam kondisi tanah salin (Jaborova *et al.*, 2023). Achakzai *et al.* (2023) melaporkan bahwa aplikasi 6,6 t ha⁻¹ biochar yang dibuat dari pupuk kandang dan campuran NPK dapat meningkatkan hasil jinten pada dua tahun pertama penanaman, dibandingkan dengan kontrol atau aplikasi NPK saja (Achakzai *et al.*, 2023). Aplikasi mikoriza (FMA) dan kombinasi biochar juga terbukti dapat memperbaiki biomassa mikroba, pertumbuhan tanaman fenugreek, dan aktivitas enzim tanah. Perlakuan FMA dengan aplikasi biochar meningkatkan tinggi tanaman sebesar 80,9%, panjang akar 8,9%, luas permukaan akar 34,4%, volume akar 78,5%, kandungan klorofil a 34,2%, kandungan klorofil b 68,4%, kandungan karotenoid 84%, dan kandungan klorofil total mencapai 44,5%, dibandingkan dengan kontrol (tanpa FMA dan tanpa biochar) (Jaborova *et al.*, 2021). Selain itu, pemakaian biochar yang dikomposkan (COMBI) dilaporkan dapat meningkatkan kesuburan tanah dan hasil panen hingga 300%, dibandingkan dengan pemberian kompos dan biochar secara terpisah atau campuran kedua produk tersebut (Antonangelo *et al.*, 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efek aplikasi biochar dari limbah kelapa muda dan kompos terhadap pertumbuhan serta hasil produksi tanaman kedelai. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh dugaan bahwa penggunaan biochar limbah kelapa muda dan kompos dapat memberikan dampak yang signifikan dalam meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas kedelai. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengamati dan mengukur seberapa besar pengaruh pemberian biochar dan kompos terhadap parameter-parameter pertumbuhan dan hasil produksi tanaman kedelai.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan di Desa Indra Jaya Kabupaten Pidie, Provinsi Aceh, Indonesia pada bulan Mei-Agustus 2023.

Alat dan Bahan

Alat-alat serta bahan-bahan yang digunakan adalah: polybag, cangkul, garu, sekop, gembor, meteran, timbangan analitik, amplop, drum, kawat, limbah kelapa muda, kompos dan kedelai varietas Anjasmoro.

Metode Penelitian

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan dua faktor perlakuan, yaitu biochar dari kelapa muda (B) dan kompos (K), masing-masing terdiri atas tiga taraf: B₀ (tanpa biochar/kontrol), B₁ (5 t ha⁻¹), B₂ (10 t ha⁻¹) untuk faktor biochar, serta K₀ (tanpa kompos/kontrol), K₁ (5 t ha⁻¹), dan K₂ (10 t ha⁻¹) untuk faktor kompos. Kombinasi dari kedua faktor ini menghasilkan 9 perlakuan yang masing-masing diulang sebanyak 3 kali, sehingga total terdapat 27-unit percobaan (Mawardiana *et al.*, 2013). Parameter yang diamati dalam penelitian ini meliputi tinggi tanaman, jumlah cabang, umur berbunga, jumlah polong, berat biji per tanaman, dan bobot 100 biji.

Pembuatan Biochar

Pembuatan biochar dilakukan dengan mengacu pada penelitian sebelumnya dengan modifikasi (Maulana *et al.*, 2022). Limbah kelapa muda dikumpulkan, dipotong kecil-kecil lalu dijemur hingga kering untuk mempercepat proses pembakaran. Proses pembakaran biochar menggunakan metode *soil-pit*, yaitu limbah kelapa muda disusun dan dibakar setelah semua bahan terbakar segera disiram agar dengan air yang banyak agar bahan tidak menjadi abu.

Persiapan Media Tanam

Persiapan media tanam dilakukan dengan merujuk metode persiapan yang telah dilaporkan oleh peneliti sebelumnya (Ayaan *et al.*, 2022). Tanah dikering anginkan lalu diayak secara dengan ayakan 2 mm dan dimasukkan ke dalam polybag sebanyak 10 kg/polybag.

Aplikasi Biochar dan Kompos

Biochar dan kompos diaduk secara merata dengan media tanam sesuai dengan perlakuan. Biochar limbah kelapa muda sebelumnya dihancurkan terlebih dahulu agar mudah bercampur dengan baik saat diaplikasikan dengan kompos dan media tanah. Biochar dan kompos diberikan 2 minggu sebelum penanaman.

Penanaman

Setiap polybag ditanam 2 biji kedelai yang terlebih dahulu dibaluri dengan tanah bekas tanam kacang kedelai. Benih ditanam pada lubang tanam sedalam 2 cm. Setelah tumbuh tanaman kedelai di tinggalkan satu tanaman untuk dipelihara.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis data secara statistika menunjukkan bahwa pemberian biochar dan kompos terhadap tinggi tanaman, jumlah polong per tanaman, berat biji per tanaman, umur berbunga tidak berpengaruh nyata. Sedangkan jumlah cabang, dan berat 100 biji berpengaruh nyata.

Tabel 1. Tinggi Tanaman Akibat Penggunaan Biochar Limbah Kelapa Muda dan Kompos

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)		
	15HST	30 HST	45 HST
Biochar			
Kontrol	18,73	27,88	42,10
5 t ha ⁻¹	21,90	28,55	42,76
10 t ha ⁻¹	22,40	29,84	46,15
Kompos			
Kontrol	20,71	27,70	42,42
5 t ha ⁻¹	21,40	29,27	44,30
10 t ha ⁻¹	21,91	29,32	44,36

Berdasarkan Tabel 1, aplikasi biochar limbah kelapa muda dan kompos berpengaruh positif terhadap tinggi tanaman walaupun tidak signifikan secara statistik. Tanaman tertinggi ditemukan pada perlakuan biochar 10 t ha⁻¹ (46,15 cm pada 45 HST) dan kompos 10 t ha⁻¹ (44,36 cm pada 45 HST), menunjukkan bahwa dosis tinggi dari kedua bahan organik ini mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman.

Hasil ini sejalan dengan temuan Jaborova *et al.*, (2023) yang melaporkan bahwa aplikasi biochar dapat meningkatkan tinggi tanaman, panjang akar, diameter akar, dan volume akar tanaman jagung secara signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa biochar memiliki kemampuan memperbaiki sifat fisik dan biologis tanah, yang mendukung pertumbuhan tanaman (Jaborova *et al.*, 2023).

Selain itu, Li *et al.*, (2023) juga melaporkan bahwa aplikasi biochar dan jerami dengan pengurangan nitrogen dapat meningkatkan hasil gabah hingga 3,47% (Li *et al.*, 2023). Hal ini menunjukkan bahwa biochar tidak hanya mendukung pertumbuhan vegetatif tetapi juga berkontribusi terhadap hasil akhir tanaman. Peningkatan tinggi tanaman dalam Tabel 1 dapat dikaitkan dengan peningkatan efisiensi serapan nutrisi yang didukung oleh biochar, sebagaimana juga ditemukan oleh Kalu *et al.*, (2022) dalam penelitian mereka terhadap tanaman sayuran yang produksinya meningkat hingga 11% setelah diberikan biochar (Kalu *et al.*, 2022).

Lebih lanjut, Sari *et al.*, (2020) menemukan bahwa penambahan biochar dari jerami meningkatkan hasil dan bobot 100 biji kedelai secara signifikan. Meskipun parameter yang diamati berbeda (hasil vs tinggi tanaman), peningkatan tinggi tanaman dapat menjadi indikator awal keberhasilan biochar dalam mendukung fase vegetatif, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap hasil (Sari *et al.*, 2020).

Namun demikian, hasil penelitian ini berbeda dengan temuan Yunedi & Perdana (2023) yang menunjukkan bahwa kombinasi biochar sekam, batok kelapa, dan fungi mikoriza arbuskula (FMA) pada tanaman kedelai di tanah ultisol tidak berpengaruh terhadap parameter pertumbuhan dan hasil.

Perbedaan ini mungkin disebabkan oleh perbedaan jenis tanah, bahan baku biochar, serta interaksi antara bahan organik dan sifat tanah spesifik seperti pH dan kapasitas tukar kation (Yunedi & Perdana, 2023).

Demikian pula, Minarti *et al.*, (2023) melaporkan bahwa aplikasi biochar dari arang kayu dan pupuk kandang ayam tidak meningkatkan pertumbuhan dan hasil cabai merah pada tanah ultisol. Hal ini mendukung bahwa efektivitas biochar sangat tergantung pada jenis tanah dan jenis bahan pembuat biochar, di mana biochar dari limbah kelapa muda yang digunakan dalam penelitian ini tampaknya lebih cocok untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman pada kondisi spesifik yang diteliti (Minarti *et al.*, 2023).

Tabel 2. Jumlah Cabang Akibat Penggunaan Biochar Limbah Kelapa Muda dan Kompos

Perlakuan	Jumlah Cabang (cabang)		
	15HST	45 HST	65 HST
Biochar			
Kontrol	0,37	3,17 a	4,77 a
5 t ha ⁻¹	0,50	3,67 b	4,97 a
10 t ha ⁻¹	0,43	4,04 b	5,57 b
Kompos			
Kontrol	0,44	3,51	4,83 a
5 t ha ⁻¹	0,41	3,64	5,03 a
10 t ha ⁻¹	0,46	3,74	5,33 b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama di kolom yang sama menurut uji ANOVA (α : 95%) tidak berbeda nyata

Berdasarkan Tabel 2, aplikasi biochar limbah kelapa muda dan kompos menunjukkan pengaruh positif terhadap jumlah cabang tanaman. Perlakuan terbaik pada biochar diperoleh pada dosis 10 t ha⁻¹ dengan jumlah cabang 5,57 pada 65 HST, dan perlakuan terbaik kompos juga ditemukan pada dosis 10 t ha⁻¹ dengan jumlah cabang 5,38. Ini menunjukkan bahwa peningkatan dosis biochar maupun kompos mampu merangsang pertumbuhan cabang tanaman.

Hasil ini didukung oleh temuan Nurmalasari *et al.*, (2022) yang melaporkan bahwa meskipun tidak ditemukan interaksi antara jenis dan dosis biochar, penggunaan biochar sekam padi pada dosis 15 t ha⁻¹ mampu meningkatkan jumlah cabang sebesar 36,63%, selain juga meningkatkan berat basah dan berat kering tanaman (Nurmalasari *et al.*, 2022). Hal ini mengindikasikan bahwa biochar memiliki potensi dalam memperbaiki kondisi lingkungan tumbuh yang mendukung perkembangan vegetatif seperti jumlah cabang.

Temuan ini juga sejalan dengan penelitian Zhao *et al.*, (2023) di Cina bagian utara, yang menunjukkan bahwa biochar limbah jagung yang dikombinasikan dengan nitrogen mampu menstabilkan hasil tanaman padi. Walaupun parameter yang diamati berbeda (hasil vs jumlah cabang), keduanya menunjukkan bahwa biochar mampu meningkatkan vitalitas tanaman dalam jangka panjang (Zhao *et al.*, 2023).

Hasil serupa juga dilaporkan Rasool *et al.*, (2021) yang menemukan bahwa kombinasi biochar limbah hijauan dan kompos dapat mengurangi indeks penyakit busuk daun pada tomat secara signifikan, hingga mencapai 48,21% dan 35,6%. Penurunan tingkat penyakit dapat menciptakan kondisi yang lebih baik bagi tanaman untuk tumbuh optimal, termasuk dalam pembentukan cabang (Rasool *et al.*, 2021).

Sementara itu, meskipun Achakzai *et al.*, (2023) meneliti pengaruh kombinasi pupuk kandang dan NPK terhadap hasil tanaman jantan, prinsip sinergi antara bahan organik dan pupuk juga berlaku pada temuan ini, di mana aplikasi kompos dalam dosis tinggi meningkatkan jumlah cabang secara signifikan (Achakzai *et al.*, 2023).

Dengan demikian, temuan pada Tabel 2 memperkuat bukti bahwa pemberian bahan organik seperti biochar dan kompos, terutama dalam dosis optimal, dapat meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman, khususnya jumlah cabang, dengan mekanisme peningkatan kualitas tanah, ketersediaan nutrisi, dan kesehatan tanaman secara keseluruhan.

Berdasarkan Tabel 3, umur berbunga tercepat terjadi pada perlakuan 5 t ha⁻¹ biochar (36,34 hari) dan 5 t ha⁻¹ kompos (36,35 hari), yang berarti perlakuan tersebut mampu mempercepat fase generatif tanaman kedelai dibandingkan kontrol dan dosis tinggi (10 t ha⁻¹) walaupun tidak signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa dosis menengah dari bahan organik (baik biochar maupun kompos) berkontribusi terhadap percepatan pematangan fisiologis tanaman secara tidak signifikan (α : 0,05).

Tabel 3. Umur Berbunga Akibat Penggunaan Biochar Limbah Kelapa Muda dan Kompos

Perlakuan	Umur Berbunga (hari)
Biochar	
Kontrol	37
5 t ha ⁻¹	36,34
10 t ha ⁻¹	38,18
Kompos	
Kontrol	37,82
5 t ha ⁻¹	36,35
10 t ha ⁻¹	37,34

Temuan ini selaras dengan penelitian Nursia & Fikrinda (2024) yang melaporkan bahwa aplikasi 100% kompos mempercepat umur berbunga (40 HST), sementara campuran biochar 80% + kompos 20% justru memperlambat umur berbunga (44 HST). Hal ini mengindikasikan bahwa kompos memiliki peran dominan dalam mempercepat fase reproduktif tanaman (Nursia & Fikrinda, 2024).

Meski Joseph *et al.*, (2021) lebih menyatakan pada peningkatan hasil (10–42%) dan ketersediaan unsur hara P di tanah masam dan berpasir, hubungan tersebut tetap relevan, karena ketersediaan fosfor dan nutrisi lainnya di awal fase vegetatif dapat mempercepat transisi menuju fase generatif, seperti berbunga.

Lebih lanjut, studi oleh Andilau *et al.*, (2024) yang menggunakan kompos Azolla 20 t ha⁻¹ menunjukkan peningkatan tinggi tanaman, jumlah cabang, dan hasil Edamame. Meskipun data mereka tidak secara langsung mengukur umur berbunga, peningkatan pertumbuhan vegetatif yang sehat dan cepat secara umum dapat mempercepat munculnya bunga (Andilau *et al.*, 2024).

Sebaliknya, hasil penelitian ini tidak sejalan dengan tren dari perlakuan 10 t ha⁻¹, di mana umur berbunga justru lebih lambat dibandingkan dosis 5 t ha⁻¹. Hal ini mengindikasikan bahwa dosis biochar dan kompos yang terlalu tinggi dapat menunda fase generatif, kemungkinan karena penumpukan unsur hara atau perubahan pH yang ekstrem, sehingga tanaman memperpanjang fase vegetatif sebelum berbunga.

Islami *et al.*, (2024) menunjukkan bahwa biochar sekam padi 4 t ha⁻¹ plus NPK dapat meningkatkan bobot tongkol jagung manis. Ini menguatkan bahwa pemberian biochar dalam dosis optimal (tidak terlalu tinggi) berdampak positif terhadap hasil, dan berpotensi memperbaiki tahapan perkembangan tanaman, termasuk waktu berbunga (Islami *et al.*, 2024).

Tabel 4 menunjukkan bahwa jumlah polong per tanaman tertinggi terdapat pada perlakuan biochar 10 t ha⁻¹ (45,13 buah) dan kompos 10 t ha⁻¹ (59,37 buah). Temuan ini menegaskan bahwa pemberian bahan organik dalam dosis tinggi mampu meningkatkan produktivitas generatif tanaman kedelai walaupun analisis statistika menunjukkan pengaruh yang tidak nyata.

Tabel 4. Rerata Jumlah Polong per Tanaman Akibat Penggunaan Biochar Limbah Kelapa Muda dan Kompos

Perlakuan	Jumlah Polong Per Tanaman (buah)
Biochar (B)	
Kontrol (B ₀)	40,40
5 t ha ⁻¹ (B ₁)	43,26
10 t ha ⁻¹ (B ₂)	45,13
Kompos (K)	
Kontrol (K ₀)	51,17
5 t ha ⁻¹ (K ₁)	57,65
10 t ha ⁻¹ (K ₂)	59,37

Hasil ini selaras dengan penelitian Nguyen *et al.*, (2024) yang melaporkan bahwa aplikasi biochar dan pupuk mampu meningkatkan hasil kedelai secara signifikan, di mana varietas DT26 naik hingga 20,7 kuintal/ha dan varietas DT20 meningkat 18,84 kuintal/ha penelitian (Nguyen *et al.*, 2024). Peningkatan ini diduga kuat berkaitan dengan peningkatan jumlah polong yang berdampak langsung pada hasil panen.

Mahdhar & Aryunis (2021) juga mendukung temuan ini, menunjukkan bahwa biochar jerami padi 15 t ha⁻¹ dan pupuk fosfat 60 kg ha⁻¹ mampu meningkatkan jumlah polong, berat kering biji, dan hasil kedelai per hektar (Mahdhar & Aryunis, 2021). Ini menunjukkan bahwa ketersediaan fosfor dan kondisi tanah yang lebih baik akibat biochar mempercepat dan memperbesar proses pembentukan polong.

Studi oleh Sharma *et al.*, (2021) pada tanaman kohlrabi memperkuat efek biochar, di mana aplikasi biochar meningkatkan hasil hingga 7,8% dan memperbaiki agregat tanah serta kemampuan menahan air (Sharma *et al.*, 2021). Meskipun tanaman yang diamati berbeda, prinsip fisiologis dan manfaat agronomis biochar tetap relevan—biochar meningkatkan kualitas tanah yang akhirnya mendukung pertumbuhan generatif seperti pembentukan polong.

Selain itu, Apori *et al.*, (2021) menemukan bahwa biochar yang dikombinasikan dengan pupuk kandang dan pupuk NPK mampu meningkatkan kualitas tanah dan hasil tanaman timun di tanah Sub Sahara. Ini memperkuat argumen bahwa interaksi antara biochar dan unsur hara makro/mikro sangat penting untuk mengoptimalkan hasil tanaman (Apori *et al.*, 2021).

Dengan demikian, data pada Tabel 4 menegaskan bahwa penggunaan biochar dan kompos dalam dosis optimal (10 t ha⁻¹) berkontribusi nyata terhadap peningkatan jumlah polong per tanaman, dan ini konsisten dengan banyak penelitian terdahulu baik di tanaman kedelai maupun komoditas lain.

Tabel 5. Rerata Berat Biji Per Tanaman Akibat Penggunaan Biochar Limbah Kelapa Muda dan Kompos

Perlakuan	Berat Biji Per Tanaman (g)
Biochar (B)	
Kontrol (B ₀)	18,03
5 t ha ⁻¹ (B ₁)	18,23
10 t ha ⁻¹ (B ₂)	18,56
Kompos (K)	
Kontrol (K ₀)	18,18
5 t ha ⁻¹ (K ₁)	18,64
10 t ha ⁻¹ (K ₂)	18,71

Tabel 5 menunjukkan bahwa berat biji per tanaman tertinggi diperoleh dari perlakuan kompos 10 t ha⁻¹ (18,71 g), diikuti oleh perlakuan biochar 10 t ha⁻¹ (18,56 g). Peningkatan berat biji tidak terlalu signifikan dibandingkan kontrol, tren yang terlihat menunjukkan bahwa pemberian bahan organik dalam dosis tinggi memberikan pengaruh tidak signifikan terhadap bobot biji kedelai.

Temuan ini tidak sejalan dengan hasil Jabborova *et al.*, (2023), yang menemukan bahwa aplikasi biochar pada berbagai tanaman (jagung, alfalfa, dan bayam) di tanah salin meningkatkan parameter morfologi seperti panjang dan volume akar serta kandungan klorofil (Jabborova *et al.*, 2023). Peningkatan ini mendukung daya serap unsur hara dan fotosintesis, yang secara tidak langsung dapat memengaruhi akumulasi hasil biji.

Penelitian ini juga berbeda dengan temuan Agegnehu *et al.*, (2016), di mana aplikasi biochar dan kompos (termasuk biochar yang dikomposkan) mampu meningkatkan kandungan klorofil daun serta hasil biji jagung sebesar 10–29% (Agegnehu *et al.*, 2016). Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi biochar dan bahan organik lain tidak secara signifikan memperbaiki kesuburan tanah dan fisiologi tanaman, termasuk produksi biji.

Tabel 6 menunjukkan bahwa bobot 100 biji tertinggi dijumpai pada perlakuan biochar limbah kelapa muda 10 t ha⁻¹ sebesar 16,27 g, yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Begitu juga pada perlakuan kompos, berat 100 butir biji tertinggi juga dijumpai pada dosis 10 t ha⁻¹ yaitu sebesar 15,78 g. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan dosis biochar dan kompos secara langsung dapat meningkatkan pembentukan dan pengisian biji tanaman kedelai.

Tabel 6. Berat 100 Butir Biji Akibat Penggunaan Biochar Limbah Kelapa Muda dan Kompos

Perlakuan	Berat 100 Butir Biji (g)
Biochar	
Kontrol	14,68 a
5 t ha ⁻¹	15,19 a
10 t ha ⁻¹	16,27 b
Kompos	
Kontrol	15,18 a
5 t ha ⁻¹	15,28 a
10 t ha ⁻¹	15,78 b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama di kolom yang sama menurut uji ANOVA (α : 95%) tidak berbeda nyata

Penelitian sebelumnya oleh Nisak & Supriyadi (2020) menyebutkan bahwa pemberian biochar sekam padi pada tanah salin mampu meningkatkan pertumbuhan dan hasil kedelai sebesar 26,7% (Nisak & Supriyadi, 2020). Perlakuan biochar 10 t ha⁻¹ juga terbukti sebagai perlakuan terbaik dalam meningkatkan jumlah polong, jumlah bintil akar, dan tinggi tanaman kedelai pada tanah Entisol (Yati *et al.*, 2024). Selanjutnya, penelitian Acharya *et al.*, (2022) menjelaskan bahwa campuran biochar dan kotoran kambing mampu meningkatkan hasil buah okra hingga 88% dibandingkan kontrol (Acharya *et al.*, 2022).

Sementara itu, Jiang *et al.*, (2023) melaporkan bahwa aplikasi biochar satu kali yang dikombinasikan dengan pupuk kandang dapat meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman dibandingkan dengan tanpa pemberian biochar (R. W. Jiang *et al.*, 2023). Langeroodia *et al.*, (2022) juga menunjukkan bahwa hasil biji bunga matahari tertinggi dijumpai pada perlakuan 10 t ha⁻¹ biochar yang dipadukan dengan mikoriza pada berbagai level pengairan (Langeroodia *et al.*, 2022). Selain itu, penggunaan biochar juga menunjukkan peningkatan kandungan nitrogen total tanah, sedangkan kompos mampu meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman seperti jumlah dan berat daun, kandungan nitrat, klorofil, dan karotenoid pada tanaman bit (Libutti & Rivelli, 2021).

Penelitian Chen *et al.*, (2023) menunjukkan bahwa aplikasi biochar hingga 60 t ha⁻¹ dengan kondisi air payau dan defisit air irigasi dapat meningkatkan produksi jagung dan serapan nitrogen selama dua tahun berturut-turut (Chen *et al.*, 2023). Penggunaan kombinasi biochar, dolomit, kompos limbah ampas tebu, dan guano juga terbukti mampu meningkatkan produktivitas kedelai hitam hingga 44,87% serta jumlah bintil akar sebesar 100% (Turmuktini *et al.*, 2022). Temuan-temuan tersebut menguatkan bahwa aplikasi biochar dan kompos dengan dosis optimal berpotensi besar dalam meningkatkan hasil biji kedelai.

Dari Tabel 6 menunjukkan bahwa bobot 100 butir biji di perlakuan biochar limbah kelapa muda 10 t ha⁻¹ yang berbeda dengan perlakuan lainnya. Selanjutnya berat 100 butir biji pada perlakuan kompos 10 t ha⁻¹ berbeda dengan perlakuan lainnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa biochar dan kompos yang dicobakan belum berpengaruh terhadap hasil dan pertumbuhan kedelai secara keseluruhan, dampak dari penelitian ini adanya pemanfaatan limbah kelapa muda untuk pembuatan biochar merupakan salah satu langkah mengurangi limbah dan dapat menyuburkan tanah, maka kedepannya perlu melihat bagaimana tingkat kesuburan tanah dari residu biochar dilokasi riset.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima Kasih Kepada LPPM Universitas Jabal Ghafur (UNIGHA) yang telah memberi dana Hibah Penelitian internal.

DAFTAR PUSTAKA

- Achakzai, A. G., Gul, S., Buriro, A. H., Khan, H., Mushtaq, A., Bano, A., Agha, S., Kamran, K., Ponya, Z., & Ismail, T. (2023). Biochar-Fertilizer Mixture: does Plant Life History Trait Determine Fertilizer Application Rate? *Environmental Pollutants and Bioavailability*, 35(1), 2170282.
- Acharya, N., Vista, S. P., Shrestha, S., Neupane, N., & Pandit, N. R. (2022). Potential of Biochar-Based Organic Fertilizers on Increasing Soil Fertility, Available Nutrients, and Okra Productivity in Slightly Acidic Sandy Loam Soil. *Nitrogen*, 4(1), 1–15.
- 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, 295–306. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.054>
- Amalina, F., Abd Razak, A. S., Krishnan, S., Sulaiman, H., Zularisam, A. W., & Nasrullah, M. (2022). Biochar production techniques utilizing biomass waste-derived materials and environmental applications—A review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 7, 100134.
- Amanda, A. C., & Ajiningrum, P. S. (2023). Pemanfaatan Bioaktivator Bonggol Pisang dan Penambahan Biochar Arang Sekam Padi Terhadap Pertumbuhan Tanaman Kedelai (*Glycine max* L. Merrill) var. anjasmoro. *STIGMA: Jurnal Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Unipa*, 16(2), 68–73.
- Andilau, A., Novita, D., & Missdiani, M. (2024). Pengaruh beberapa Dosis Pupuk kompos Azolla terhadap Produksi Tanaman Kedelai Edamame (*Glycine max* (L) Merrill.). *Agronitas*, 6(2), 466–474.
- Antonangelo, J. A., Sun, X., & Zhang, H. (2021). The roles of co-composted biochar (COMBI) in improving soil quality, crop productivity, and toxic metal amelioration. *Journal of Environmental Management*, 277(September 2020). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111443>
- Apori, S. O., Byalebeka, J., Murongo, M., Ssekandi, J., & Noel, G. L. (2021). Effect of co-applied corncob biochar with farmyard manure and NPK fertilizer on tropical soil. *Resources, Environment and Sustainability*, 5, 100034.
- Ayaan, A. N. L., Tanur, E. A., & May, N. L. (2022). Pengaruh Media Tanam terhadap Pertumbuhan Stump Jati Eksotik Hasil Klon. *Jurnal Kehutanan Papuasiasia*, 8(1), 114–124.
- BPS. (2024). Analisis Produktivitas Jagung Dan Kedelai Di Indonesia the Analysis of Maize and Soybean Yield in Indonesia (the Result of Crop-Cutting Survey).
- Chen, Y., Wang, L., Tong, L., Hao, X., Wu, X., Ding, R., Kang, S., & Li, S. (2023). Effects of biochar addition and deficit irrigation with brackish water on yield-scaled N₂O emissions under drip irrigation with mulching. *Agricultural Water Management*, 277(January), 108129. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108129>
- Das, H., Devi, N. S., Venu, N., & Borah, A. (2023). “Chemical Fertilizer and its Effects on the Soil Environment.” In *Research and Review in Agriculture Sciences* (Issue July, pp. 31–51). Bright Sky Publications.
- Herviyanti, H., Maulana, A., Prima, S., Aprisal, A., Crisna, S. D., & Lita, A. L. (2020). Effect of biochar from young coconut waste to improve chemical properties of ultisols and growth coffee [*Coffea arabica* L.] plant seeds. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 497(1), 12038.
- Islami, M. F. A., Rauf, A., & Nursalam, N. (2024). Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Jagung Manis (*Zea Mays Saccharata* Sturt) pada Pemberian Biochar Sekam Padi dan Pupuk Npk. *AGROTEKBIS: JURNAL ILMU PERTANIAN (e-Journal)*, 12(2), 522–530.
- Iverson, B. L., & Dervan, P. B. (2022). Analisis Produktivitas Jagung dan Kedelai di Indonesia 2022 (Hasil Survei Ubinan). *Badan Pusat Statistik/BPS-Statistics Indonesia*, 7823–7830.

- Jabborova, D., Abdrakhmanov, T., Jabbarov, Z., Abdullaev, S., Azimov, A., Mohamed, I., AlHarbi, M., Abu-Elsaoud, A., & Elkelish, A. (2023). Biochar improves the growth and physiological traits of alfalfa, amaranth and maize grown under salt stress. *PeerJ*, 11, e15684.
- Jabborova, D., Annapurna, K., Choudhary, R., Bhowmik, S. N., Desouky, S. E., Selim, S., Azab, I. H. El, Hamada, M. M. A., Nahhas, N. El, & Elkelish, A. (2021). Interactive impact of biochar and arbuscular mycorrhizal on root morphology, physiological properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and soil enzymatic activities. *Agronomy*, 11(11), 2341.
- Japakumar, J., Abdullah, R., & Rosli, N. S. M. (2021). Effects of biochar and compost applications on soil properties and growth performance of amaranthus sp. Grown at urban community garden. *AGRIVITA, Journal of Agricultural Science*, 43(3), 441–453.
- Jiang, R. W., Mechler, M. A., & Oelbermann, M. (2023). Exploring the effects of one-time biochar application with low dosage on soil health in temperate climates. *Soil Security*, 12(June), 100101. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2023.100101>
- Jiang, Y., Li, T., Xu, X., Sun, J., Pan, G., & Cheng, K. (2024). A global assessment of the long-term effects of biochar application on crop yield. *Current Research in Environmental Sustainability*, 7(August 2023), 100247. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2024.100247>
- Joseph, S., Cowie, A. L., Van Zwieten, L., Bolan, N., Budai, A., Buss, W., Cayuela, M. L., Graber, E. R., Ippolito, J. A., & Kuzyakov, Y. (2021). How Biochar Works, and When it doesn't: A Review of Mechanisms Controlling Soil and Plant Responses to Biochar. *Gcb Bioenergy*, 13(11), 1731–1764.
- Kalu, S., Kulmala, L., Zrim, J., Peltokangas, K., Tammeorg, P., Rasa, K., Kitzler, B., Pihlatie, M., & Karhu, K. (2022). Potential of Biochar to Reduce Greenhouse Gas Emissions and Increase Nitrogen Use Efficiency in Boreal Arable Soils in the Long-Term. *Frontiers in Environmental Science*, 10(3), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.914766>
- Khadori, A. (2023). Aplikasi Biochar Cangkang Kelapa Sawit dan Pupuk Kandang ayam Terhadap Kepadatan Ultisol dan Hasil Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L.). Universitas Jambi.
- Langeroodia, A. S., Tedeschi, P., Allevato, E., Stazi, S. R., Aadil, R. M., Mancinelli, R., & Radicetti, E. (2022). Agronomic Response of Sunflower Subjected to Biochar and Arbuscular Mycorrhizal Fungi Application under Drought Conditions. *Italian Journal of Agronomy*, 17(3).
- Li, D., He, H., Zhou, G., He, Q., & Yang, S. (2023). Rice Yield and Greenhouse Gas Emissions Due to Biochar and Straw Application under Optimal Reduced N Fertilizers in a Double Season Rice Cropping System. *Agronomy*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/agronomy13041023>
- Libutti, A., & Rivelli, A. R. (2021). Quanti-qualitative response of swiss chard (*Beta vulgaris* L. var. *cycla*) to soil amendment with biochar-compost mixtures. *Agronomy*, 11(2), 307.
- Mahdhar, A., & Aryunis, E. (2021). Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Kedelai. 18(2), 45–65.
- Maulana, A., Herviyanti, Prasetyo, T. B., Harianti, M., & Lita, A. L. (2022). Effect of Pyrolysis Methods on Characteristics of Biochar from Young Coconut Waste as Ameliorant. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 959(1), 012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/959/1/012035>
- Minarti, M., Ginting, S., Rembon, F. S., Darwis, D., Resman, R., & Namriah, N. (2023). Pengaruh Pemberian Biochar Arang dan Pupuk Kandang Ayam terhadap pH, Ktk, C, K Tanah dan Pertumbuhan serta Produksi Tanaman Cabai Merah (*Capsium Annum* L.) pada Tanah Ultisol. *Agritechpedia: Journal of Agriculture and Technology*, 1(02), 77–88.
- Nguyen, K., History, T. P.-A., & 2024, undefined. (2024). The Effect of Applying Biochar in Combination With Mineral Fertilizers on the Growth, Development, and Yield of Soybean Varieties Dt20 and Dt26. *Agrarianhistory.Com*.

- Nisak, S. K., & Supriyadi, S. (2020). Biochar Sekam Padi Meningkatkan Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kedelai di Tanah Salin. *Jurnal Pertanian Presisi (Journal of Precision Agriculture)*, 3(2), 165–176.
- Nurmalasari, A. I., Rahayu, M., & Owena, E. N. N. (2022). Growth of Soybean (*Glycine max L.*) on Various Types of Biochar. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1016(1), 12005.
- Nursia, A., & Fikrinda, W. W. (2024). Efek Sinergi Biochar-Kompos pada Tanaman Kedelai (*Glycine max L.*) di Sawah. *Jurnal Agrotek Tropika*, 12(3).
- Pahalvi, H. N., Rafiya, L., Rashid, S., Nisar, B., & Kamili, A. N. (2021). Chemical Fertilizers and Their Impact on Soil Health. In *Microbiota and Biofertilizers, Vol 2 (Vol. 2, pp. 1–20)*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_1
- Panjaitan, E., Sidauruk, L., Manalu, C. J., Sianturi, P. L. L., & Nainggolan, L. P. (2023). Pengaruh Komposisi Media Tanam (Tanah, Biochar dan Vermikompos) terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kedelai (*Glycine Max L.*) *Agrica Ekstensia*, 17(2), 84–93.
- Rasool, M., Akhter, A., Soja, G., & Haider, M. S. (2021). Role of biochar, compost and plant growth promoting rhizobacteria in the management of tomato early blight disease. *Scientific Reports*, 11(1), 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85633-4>
- Sajar, S., Setiawan, A., & Tri Anzani, A. (2024). Effect of Various Biochar Materials and Levels of Chicken Manure Fertilizer on Soil Chemical, Growth and Yield of Soybean (*Glycine max L Merrill*). *International Journal of Research and Review*, 11(8), 279–293. <https://doi.org/10.52403/ijrr.20240830>
- Sari, D. N., Akmal, & Aryunis. (2020). Pengaruh Pemberian Biochar Limbah Kedelai Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kedelai (*Glycine max (L) Merrill*). *Agriculture*, 1(1), 1–11.
- Sharma, P., Abrol, V., Sharma, V., Chaddha, S., Rao, C. S., Ganie, A. Q., Hefft, D. I., El-Sheikh, M. A., & Mansoor, S. (2021). Effectiveness of biochar and compost on improving soil hydro-physical properties, crop yield and monetary returns in inceptisol subtropics. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(12), 7539–7549.
- Thivaly, D. A., Setyawan, H. Y., Yusoff, M. Z. M., Mohamed, M. S., & Farid, M. A. A. (2024). Activated biochar production from young coconut waste (*Cocos nucifera*) as bioadsorbent: a pathway through Artificial Neural Network (ANN) optimization. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(10), 962. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-13119-7>
- Turmuktini, T., Irawan, R., Taryana, Y., Widodo, R. W., Muliani, Y., Kantikowati, E., & Simarmata, T. (2022). Effect of Formulated Biochar on Nodule Production, Dry Matter and Grain Yield of Black Soybean (*Glycine max (L.) Merr*) in Indonesia. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 22(10), 21825–21839.
- Wibowo, Y. G., Ramadan, B. S., & Andriansyah, M. (2019). Simple Technology to Convert Coconut Shell Waste into Biochar; A Green Leap Towards Achieving Environmental Sustainability. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 16(2), 58. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v16i2.58-64>
- Wire Sentane Jaya, Baharudin, AB, M. (2014). Pengaruh Pemberian Berbagai Macam Biochar dan Dosis Nitrogen terhadap Pertumbuhan dan Produksi Kedelai (*Glycine max L. merril*). 3(3), 63–77.
- Yati, M. G., Widowati, W., & Fikrinda, W. (2024). Pengaruh Biochar Sekam Padi dan Pupuk Organik Cair terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kedelai pada Entisol. *Jurnal AGROSAINS Dan TEKNOLOGI*, 9(1), 1–7.
- Yunedi, S., & Perdana, A. (2023). Pemberian Fungi Mikoriza Arbuskula dan Biochar terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kedelai (*Glycine max (L.) Merril*) pada Tanah Ultisol. *Jurnal Agroteknologi*, 14(1), 33–42.

Zhao, Y., Jiang, H., Gao, J., Feng, Y., Yan, B., Li, K., Lan, Y., & Zhang, W. (2023). Effects of nitrogen co-application by different biochar materials on rice production potential and greenhouse gas emissions in paddy fields in northern China. *Environmental Technology and Innovation*, 32, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103242>