E-ISSN : 3063-2390
Volume 3 Nomor 2 Desember 2026

Jurnal Agri Nauli
Agroteknologi, Agribisnis, Peternakan dan Teknologi Hasil Pertanian

https://jurnal.ugn.ac.id/index.php/jag



Pengaruh Pemberian Pupuk Hayati Terhadap Tanaman Selada (*Lactuca Sativa* L.*)* Dan Beberapa Sifat Fisik Tanah

IKHSAN

Universitas Graha Nusantara Padangsidimpuan

ikhsanbtr123@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian pupuk hayati terhadap pertumbuhan tanaman selada (Lactuca sativa L.) serta beberapa sifat fisik tanah yang meliputi berat volume tanah, kadar air tanah, dan tekstur tanah. Penelitian dilaksanakan di Siborang, Kota Padangsidimpuan pada bulan Januari hingga Februari 2026. Metode yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) non faktorial dengan 4 perlakuan dan 6 ulangan, sehingga diperoleh 24 satuan percobaan. Perlakuan terdiri atas P0 (kontrol), P1 (pupuk hayati PHC Hantu), P2 (APH Bio Biagma), dan P3 (Trichoderma sp.). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian pupuk hayati berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman selada, dimana perlakuan terbaik terdapat pada P3 (Trichoderma sp.) dengan rata-rata tinggi tanaman sebesar 25,67 cm. Namun, pemberian pupuk hayati tidak memberikan pengaruh nyata terhadap jumlah daun dan diameter daun, meskipun secara deskriptif terjadi peningkatan pada beberapa perlakuan. Pada parameter sifat fisik tanah, hasil analisis menunjukkan bahwa pemberian pupuk hayati tidak berpengaruh nyata terhadap kadar air tanah dan berat volume tanah. Nilai kadar air tanah berkisar antara 16,83%–20,17%, sedangkan berat volume tanah berkisar antara 0,72–0,75 g/cm³. Selain itu, pupuk hayati juga tidak memberikan pengaruh nyata terhadap tekstur tanah (fraksi pasir, debu, dan liat), yang menunjukkan bahwa tekstur tanah cenderung stabil dan sulit berubah dalam waktu singkat.Secara keseluruhan, pupuk hayati terutama Trichoderma sp. mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman selada, khususnya tinggi tanaman, namun belum mampu memberikan perubahan signifikan terhadap sifat fisik tanah dalam jangka waktu penelitian. Oleh karena itu, diperlukan waktu aplikasi yang lebih lama untuk melihat pengaruh pupuk hayati terhadap perbaikan sifat fisik tanah secara lebih nyata.

Kata kunci: Bobot Volume Tanah, *Lactuca Sativa* L., Pupuk Hayati, Sifat Fisik Tanah, *Trichoderma* Sp..

Abstract

*This study aimed to determine the effect of biofertilizer application on the growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and on several soil physical properties, including soil bulk density, soil moisture content, and soil texture. The research was conducted in Siborang, Padangsidimpuan City, from January to February 2026. A non-factorial Randomized Block Design (RBD) was employed, featuring four treatments and six replications, resulting in 24 experimental units. The treatments consisted of P0 (control), P1 (PHC Hantu biofertilizer), P2 (APH Bio Biagma), and P3 (*Trichoderma* sp.). The results indicated that biofertilizer application significantly affected lettuce plant height; the best treatment was P3 (*Trichoderma* sp.), yielding an average plant height of 25.67 cm. However, biofertilizer application did not significantly affect the number of leaves or leaf diameter, although descriptive increases were observed in some treatments. Regarding soil physical properties, analysis showed that biofertilizer application had no significant effect on soil moisture content or soil bulk density. Soil moisture content ranged from 16.83% to 20.17%, while soil bulk density ranged from 0.72 to 0.75 g/cm³. Furthermore, the biofertilizers did not significantly influence soil texture (sand, silt, and clay fractions), indicating that soil texture tends to be stable and resistant to rapid change. Overall, biofertilizers—particularly *Trichoderma* sp.—were capable of enhancing lettuce growth (specifically plant height) but did not produce significant changes in soil physical properties within the study's timeframe. Consequently, a longer application period is required to observe more distinct effects of biofertilizers on the improvement of soil physical properties.*

Keywords: *Soil Bulk Density, Lactuca Sativa L., Biofertilizer, Soil Physical Properties, Trichoderma Sp.*

E-ISSN : 3063-2390
Volume 3 Nomor 2 Desember 2026

PENDAHULUAN

Selada (*Lactuca sativa* L.) merupakan salah satu komoditas hortikultura daun yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan berperan strategis dalam pemenuhan kebutuhan mikronutrien masyarakat. Permintaan pasar terhadap selada terus meningkat seiring dengan pergeseran gaya hidup masyarakat perkotaan yang kian memperhatikan pola konsumsi sehat berbasis sayuran segar (Lestari et al., 2022). Karakteristik selada yang berumur genjah (30–45 hari setelah tanam) menjadikannya pilihan budidaya intensif yang menjanjikan, baik dalam skala agribisnis komersial maupun pertanian pekarangan (Ramadhany et al., 2023).

Keberhasilan budidaya selada sangat ditentukan oleh kondisi rizosfer, terutama kualitas fisik media tanam seperti bobot volume (*bulk density*), kadar air, porositas, dan tekstur tanah. Sistem perakaran selada yang tergolong dangkal dan sensitif menuntut media perakaran yang gembur, memiliki aerasi cukup, serta kapasitas retensi air yang memadai untuk menjamin kelancaran translokasi hara (Hardjowigeno, 2018). Kondisi fisik tanah yang suboptimal dapat menjadi faktor pembatas utama pertumbuhan vegetatif, yang berujung pada penurunan bobot panen dan kualitas visual daun (Novia et al., 2023).

Karakteristik fisik tanah seperti bobot volume (*bulk density*) dan kadar air merupakan parameter kunci yang saling berhubungan dalam menilai tingkat kegemburan tanah. Nilai bobot volume yang tinggi mengindikasikan tanah yang padat dengan ruang pori terbatas, yang secara mekanik menghalangi laju pemanjangan akar tanaman (Rahman et al., 2023). Di sisi lain, kadar air tanah mengontrol ketersediaan larutan hara bagi perakaran serta menentukan viabilitas mikroorganisme tanah, di mana ketidakseimbangan lengas tanah dapat mengganggu metabolisme fisiologis tanaman (Yuliana et al., 2021).

Fraksi tekstur tanah (pasir, debu, dan liat) turut menjadi penentu fundamental dalam kapasitas simpan air dan kapasitas tukar kation tanah. Tanah bertekstur pasir memiliki laju drainase yang tinggi namun kapasitas simpan air yang rendah, sedangkan tanah bertekstur liat memiliki retensi air yang tinggi tetapi berisiko terhadap pemadatan dan aerasi buruk (Zhang et al., 2021). Meskipun fraksi tekstur merupakan sifat bawaan (*inherent property*) yang sulit diubah dalam jangka pendek, rekayasa struktur melalui perbaikan agregasi tanah mutlak diperlukan agar media tanam mampu menyediakan ruang aerasi dan kelembapan yang seimbang bagi perakaran (Utomo et al., 2020).

Aplikasi pupuk hayati pada tanaman selada telah dilaporkan memberikan respons pertumbuhan vegetatif yang positif. Hidayati et al. (2025) membuktikan bahwa pemberian pupuk hayati mampu memacu tinggi tanaman dan pembentukan daun selada secara nyata. Sejalan dengan hal tersebut, Fajeriana et al. (2025) melaporkan bahwa pupuk hayati bioaktif mampu memperbaiki kondisi fisik tanah melalui penurunan bobot volume dan peningkatan stabilitas agregat pada tanah berkepadatan tinggi. Secara khusus, pemanfaatan agen hayati seperti *Trichoderma* sp. tidak hanya berfungsi sebagai biofungisida penekan patogen tanah, tetapi juga bertindak sebagai biostimulan perakaran dan dekomposer bahan organik

E-ISSN : 3063-2390
Volume 3 Nomor 2 Desember 2026

yang memperbaiki sirkulasi udara di dalam tanah (Sriwati, 2017; Rizal & Susanti, 2018).

Kendati demikian, respons sifat fisik tanah terhadap aplikasi pupuk hayati cair maupun isolat biologis sering kali menunjukkan variasi yang cukup lebar. Pengaruh biologis tersebut sangat dipengaruhi oleh dosis aplikasi, jenis inokulan, komposisi media awal, serta durasi kontak mikroba di dalam tanah (Wang et al., 2022; Chen et al., 2024). Di wilayah dengan variasi media tanam lokal, kajian komparatif mengenai efektivitas berbagai jenis pupuk hayati komersial dan agens hayati murni (*Trichoderma* sp.) terhadap parameter bobot volume, kadar air, tekstur, serta respons agronomi tanaman selada masih memerlukan pembuktian empiris yang sistematis.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini telah dilaksanakan di Jl.Imam Bonjol Kelurahan wek V Kecamatan Padangsidimpuan Selatan, Kota Padangsidimpuan Dan di labolatorium Fakultas Pertanian Universitas Graha Nusantara . Dilaksanakan pada bulan Januari - Februari 2026.Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) Non Faktorial dengan 4 perlakuan dan 6 ulangan, sehingga terdapat 24 satuan percobaan. Perlakuan yang diuji adalah :

1. **P0** : Kontrol/tanpa pupuk hayati
2. **P1** : PHC Hantu
3. **P2** : PHC APH Bio Biagma
4. **P3** : *Trichoderma sp.*

Pemberian PHC dan *Trichoderma sp*, dilakukan 1 kali seminggu sejak tanaman berumur 7 hari setelah tanam (HST) hingga umur panen dengan dosis 5 ml Pupuk hayati cair dan air 2500 ml, untuk setiap plot nya di berikan 400 ml pengaplikasian

Adapun Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah benih selada (*Lactuca sativa* L.), pupuk hayati (*Trichoderma sp*.), pupuk Hayati cair Hantu dan APH Bio Biagma), air, polybag, cangkul, ember, gelas ukur, botol semprot (sprayer), suntik, timbangan analitik, penggaris, cove ring, oven tanah, buku tulis, dan kamera.

Adapun Langkah-langkah pelaksanaan dalam penelitian ini :

1. Persiapan Lahan
2. Persiapan Media Tanam
3. Persemaian dan Penanaman Bibit
4. Pemberian Perlakuan
5. Pemeliharaan Tanaman
6. Pengamatan dan Pengukuran
7. Panen
8. Pengambilan Sampel Tanah
9. Pengolahan dan Analisis Sampel

E-ISSN : 3063-2390
Volume 3 Nomor 2 Desember 2026

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Tinggi tanaman selada (cm)

Berdasarkan hasil pengamatan perlakuan pemberian pupuk hayati menghasilkan variasi rata-rata tinggi tanaman selada yang berkisar antara 19,17 cm hingga 25,67 cm. Rata-rata tinggi tanaman tertinggi dicapai pada perlakuan P3 (*Trichoderma* sp.) yaitu sebesar 25,67 cm, diikuti berturut-turut oleh perlakuan P2 (21,80 cm), P1 (21,50 cm), dan terendah pada perlakuan kontrol P0 (19,17 cm) sesuai dengan tabel berikut.

Tabel 4.1 Rata – rata Tinggi tanaman dalam perlakuan pemberian pupuk hayati

Perlakuan	Rataan
P0	**19,17 a**
P1	**21,50 a**
P2	**21,80 a**
P3	**25,67 b**

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama menujukkan tidak berbeda nyata dan Angka yang diikuti oleh huruf yang tidak sama menujukkan berbeda nyata pada uji BNT ($\alpha = 0,05$)

Hasil analisis sidik ragam (ANOVA) pada Lampiran 2 menunjukkan bahwa perlakuan pupuk hayati memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi tanaman selada, yang ditunjukkan oleh nilai $F^{Hitung} = 3,455$ yang lebih besar daripada $F^{Tabel\ 0,05} = 3,29$ dengan tingkat signifikansi $P = 0,044$ ($P < 0,05$). Hasil uji lanjut menunjukkan bahwa perlakuan P3 berada pada subset kelompok yang berbeda nyata (notasi b) dibandingkan dengan perlakuan P0, P1, dan P2 (notasi a). Sementara itu, antara perlakuan kontrol (P0) dengan pupuk hayati cair komersial (P1 dan P2) tidak menunjukkan perbedaan yang nyata secara statistik.

Keunggulan perlakuan P3 (*Trichoderma* sp.) dalam memacu pemanjangan batang semu tanaman selada berkaitan erat dengan kemampuan agens hayati tersebut dalam menghasilkan metabolit sekunder dan senyawa pemacu pertumbuhan. Fungi *Trichoderma* sp. di daerah rizosfer diketahui mampu memproduksi fitohormon endogen, khususnya asam indol asetat (auksin/IAA) dan giberelin (Pratama & Yuliana, 2020). Senyawa auksin berperan aktif dalam merangsang pelonggaran dinding sel (*acid growth theory*) dan memacu pembelahan serta pemanjangan sel pada jaringan meristem apikal tanaman, sehingga tinggi tanaman meningkat secara nyata (Sriwati, 2017).

Di samping stimulasi hormonal, kolonisasi hifa *Trichoderma* sp. pada sistem perakaran selada terbukti memperluas zona serapan rizosfer. Selada memiliki perakaran serabut yang dangkal, sehingga keberadaan mikroba simbiotik sangat krusial dalam membantu eksplorasi air dan nutrisi di dalam polybag. Melalui pelepasan enzim selulase dan asam-asam organik alifatik rantai pendek, *Trichoderma* sp. mempercepat laju mineralisasi bahan organik (pupuk kandang dan sekam padi) serta melarutkan fosfat anorganik yang terikat dalam tanah menjadi ortofosfat bebas yang siap diserap tanaman (Rizal & Susanti, 2018; Rahmawati et al., 2021). Ketersediaan unsur hara nitrogen (N) dan

E-ISSN : 3063-2390
Volume 3 Nomor 2 Desember 2026

fosfor (P) yang optimal mendukung sintesis klorofil dan akumulasi energi ATP untuk pembentukan biomassa vegetatif (Novia et al., 2023).

Sebaliknya, pada perlakuan P1 (PHC Hantu) dan P2 (PHC Bio Biagma), peningkatan tinggi tanaman belum berbeda nyata dibandingkan kontrol (P0). Kondisi ini diduga disebabkan oleh formulasi inokulan cair yang membutuhkan kondisi adaptasi dan stabilitas lingkungan yang lebih sensitif dibandingkan dengan inokulum berbasis pembawa organik padat (*carrier*) pada *Trichoderma* sp. Selain itu, komposisi media tanam dasar yang telah mengandung pupuk kandang sapi dan sekam padi (1:1:1 v/v) telah menyediakan nutrisi dasar yang cukup memadai bagi kontrol P0, sehingga pupuk hayati cair belum memperlihatkan lompatan respons yang signifikan dalam satu siklus vegetatif singkat selada (45 HST) (Li et al., 2022).

Hal ini sejalan dengan temuan Rizal dan Susanti (2018) yang menyatakan bahwa aplikasi *Trichoderma* sp. secara konsisten mampu menstimulasi pertumbuhan vegetatif melalui perbaikan morfologi perakaran dan efisiensi serapan nutrisi tanaman. Sriwati (2017) juga menegaskan bahwa *Trichoderma* sp. berperan ganda tidak hanya sebagai agens biokontrol penekan mikroorganisme patogen di zona akar, tetapi juga bertindak sebagai biostimulan rizosfer yang menciptakan lingkungan mikro optimal bagi pertumbuhan tajuk tanaman hortikultura. Dengan demikian, pemberian pupuk hayati berbasis *Trichoderma* sp. (P3) terbukti paling efektif dan optimal dalam memacu pertumbuhan tinggi tanaman selada dibandingkan perlakuan lainnya.

2. Jumlah Daun (Helai)

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa pemberian pupuk hayati tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap jumlah daun tanaman selada pada minggu ke -7. Hal ini ditunjukkan oleh nilai Fhitung (1.12) yang lebih kecil dibandingkan Ftabel pada taraf 5% (3,29), sehingga secara statistik perlakuan yang diberikan tidak berpengaruh signifikan

Tabel 4.2 Rata – rata Jumlah Daun (Helai) dalam perlakuan pemberian pupuk hayati.

Perlakuan	Rataan
P0	**6,3 a**
P1	**6,8 a**
P2	**6,5 a**
P3	**7,7 a**

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama menujukkan tidak berbeda nyata pada uji BNT (α = 0,05)

Bisa di lihat dari perlakuann P0, P1, P2 Dan P3 tidak berbeda nyata anatara masing masingnya. Meskipun demikian, secara deskriptif terlihat adanya perbedaan rata – rata jumlah daun antar perlakuan. perlakuan P3 menunjukkan jumlah daun tertinggi yaitu 7,7 helai, sedangkan perlakuan P0 (kontrol) menunjukkan jumlah daun terendah yaitu 6,3 helai. Perlakuan P1 dan P2 memiliki nilai yang relatif mendekati satu sama lain, yaitu masing – masing sebesar 6,8 helai dan 6,5 helai. Tidak signifikannya pengaruh perlakuan terhadap jumlah daun diduga disebabkan oleh factor

E-ISSN : 3063-2390
Volume 3 Nomor 2 Desember 2026

genetic tanaman yang lebih dominan dalam menentukan pembentukan daun dibandingkan factor lingkungan. Selain itu, jumlah daun juga dipengaruhi oleh umur tanaman dan fase pertumbuhan, sehingga pada mimggu ke -7 kemungkinan tanaman mencapai fase pertumbuhan daun yang relative stabil. Selain itu, meskipun *Trichoderma sp* mampu meningkatkan ketersediaan unsur hara, namun respon tanaman terhadap peningkatan unsur hara tidak selalu ditunjukkan dalam bentuk penambahan jumlah daun melainkan dapat berupa peningkatan ukuran atau kualitas daun.

Menurut Rizal dan Susanti, pengaruh Trichoderma sp terhadap pertumbuhan tanaman tidak selalu terlihat pada semua parameter pertumbuhan, melainkan tergantung pada kondisi lingkungan dan jenis tanaman (Rizal dan Susanti, 2018). Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas pupuk hayati bersifat spesifik dan tidak selalu memberikan respons yang sama pada setiap parameter pertumbuhan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pemberian pupuk hayati belum mampu meningkatkan jumlah daun secara signifikan, meskipun secara deskriptif terdapat kecenderungan peningkatan pada perlakuan tertentu.

3. Diameter Daun (Helai)

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa pemberian pupuk hayati tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap diameter daun tanaman selada. Hal ini ditunjukkan oleh nilai Fhitung (2,87) yang lebih kecil diandingkan Ftabel pada taraf 5% (3,29), sehingga perlakuan yang diberikan tidak berpengaruh signifikan secara statistic. Namun demikian, berdasarkan hasil pengamatan, perlakuan P3 menunjukkan rata – rata diameter daun tertinggi yaitu sebesar 10,7 cm, sedangkan perlakuan P0 menunjukkan nilai terendah yaitu sebersar 7,8 cm. perlakuan P1dan P2 masing – masing menunjukkan nilai sebesar 9,0 cm dan 9,3 cm. Disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4.3 Rata - rata Diameter Daun dalam perlakuan pemberian pupuk hayati

Perlakuan	Rataan
P0	**7,8 a**
P1	**9,0 a**
P2	**9,3 a**
P3	**10,7 a**

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama menujukkan tidak berbeda nyata pada uji BNT (α = 0,05)

Bisa di lihat dari perlakuann P0, P1, P2 Dan P3 tidak berbeda nyata anatara masing masingnya. Secara deskriptif, terlihat bahwa penambahan *Trichoderma sp* cenderung meningkatkan ukuran daun, meskipun peningkatan tersebut tidak signifikan secara statistik. Hal ini menunjukkan bahwa *Trichoderma sp* tetap memberikan kontribusi positif terhadap pertumbuhan tanaman, namun pengaruhnya belum cukup kuat untuk menghasilkan perbedaan nyata. Diameter daun merupakan salah satu indikator pertumbuhan vegetatif yang dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara, terutama nitrogen. Dalam hal ini, meskipun pupuk hayati mampu meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah, namun

E-ISSN : 3063-2390
Volume 3 Nomor 2 Desember 2026

kemungkinan ketersediaan unsur hara belum optimal untuk memicu pertumbuhan diameter daun secara signifikan.

Selain itu, faktor lingkungan seperti intensitas cahaya, suhu, dan kelembaban juga sangat mempengaruhi perkembangan daun. Jika kondisi lingkungan kurang optimal, maka respons tanaman terhadap perlakuan pupuk hayati menjadi tidak maksimal. Sriwati menyatakan bahwa *Trichoderma sp* berperan dalam meningkatkan kesuburan tanah dan kesehatan tanaman, namun efektivitasnya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan interaksi dengan mikroorganisme lain di dalam tanah (Sriwati, 2017). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pemberian pupuk hayati belum mampu memberikan pengaruh nyata terhadap diameter daun tanaman selada, meskipun terdapat kecenderungan peningkatan pada perlakuan tertentu.

4. Kadar Air Tanah

Hasil analisis menunjukkan bahwa perlakuan tidak berpengaruh nyata terhadap kadar air tanah (Sig. 0,262 > 0,05). Nilai rata-rata kadar air tanah berkisar antara 16,83% hingga 20,17%, dengan seluruh perlakuan berada pada kelompok yang sama (a) Disajikan pada Tabel di bawah tersebut.

Tabel 4.4 Rata – Rata Kadar Air Tanah Dalam Perlakuan Pemberian Pupuk Hayati

Perlakuan	Rataan
P0	**20,17 a**
P1	**16,83 a**
P2	**19,00 a**
P3	**17,00 a**

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama menujukkan tidak berbeda nyata pada uji BNT (α = 0,05).

Bisa di lihat dari perlakuann P0, P1, P2 Dan P3 tidak berbeda nyata anatara masing masingnya.Kadar air tanah merupakan parameter penting yang mencerminkan kemampuan tanah dalam menyimpan air dan sangat dipengaruhi oleh tekstur, struktur, serta kandungan bahan organik. Menurut Huang et al., peningkatan bahan organik dalam tanah dapat meningkatkan kapasitas menahan air melalui peningkatan porositas dan agregasi tanah (Huang et al, 2021). Namun, pada penelitian ini, perlakuan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap kadar air tanah. Hal ini diduga karena belum terjadinya perubahan signifikan pada struktur tanah, sehingga kemampuan tanah dalam menyimpan air masih relatif sama. Penelitian oleh Wang et al. menyatakan bahwa efek pupuk hayati terhadap kadar air tanah sangat bergantung pada peningkatan agregasi tanah, yang umumnya membutuhkan waktu yang lebih lama (Wang et al. 2022).

Selain itu, faktor lingkungan seperti suhu, intensitas cahaya, dan frekuensi penyiraman juga berpengaruh besar terhadap kadar air tanah. Variasi nilai kadar air pada setiap ulangan kemungkinan disebabkan oleh fluktuasi kondisi lingkungan tersebut. Menurut Kurniawan variabilitas kadar air tanah lebih sering dipengaruhi oleh faktor eksternal dibandingkan perlakuan dalam jangka pendek (Kurniawan, 2023). Tidak signifikannya pengaruh kelompok (Sig.

E-ISSN : 3063-2390
Volume 3 Nomor 2 Desember 2026

0,061 > 0,05) menunjukkan bahwa variasi antar ulangan tidak terlalu besar dalam mempengaruhi kadar air tanah dibandingkan pada berat volume. Hal ini mengindikasikan bahwa distribusi air dalam tanah relatif lebih merata dibandingkan distribusi kepadatan tanah.

Selain itu, nilai kadar air tanah yang relatif sedang (16–20%) menunjukkan bahwa tanah berada pada kondisi cukup lembab, sehingga perlakuan tidak memberikan perbedaan yang mencolok. Menurut FAO, pada kondisi kelembaban tanah yang optimal, tambahan bahan organik atau pupuk hayati tidak selalu menunjukkan peningkatan signifikan dalam kapasitas menahan air (FAO, 2020).

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa.Perlakuan belum memberikan pengaruh nyata terhadap sifat fisik tanah (berat volume dan kadar air) Faktor lingkungan dan kondisi awal tanah lebih dominan diperlukan waktu aplikasi yang lebih lama untuk melihat efek perlakuan. Hal ini didukung oleh penelitian Chen et al. yang menyatakan bahwa perubahan sifat fisik tanah akibat perlakuan biologis dan organik umumnya bersifat jangka panjang dan kumulatif. (Chen et al, 2024)

5. Bobot Volume Tanah (*Bulk Density*) (g/cm³)

Hasil analisis menunjukkan bahwa perlakuan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap berat volume tanah (Sig. 0,512 > 0,05). Nilai rata-rata berat volume tanah berkisar antara 0,72–0,75 g/cm³ dan seluruh perlakuan berada pada kelompok yang sama (a). Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan belum mampu mengubah sifat fisik tanah, khususnya kepadatan tanah. Disajikan pada Tabel di bawah tersebut.

Tabel 4.5 Rata – rata Bobot Volume Tanah (*Bulk Density*) dalam perlakuan pemberian pupuk hayati

Perlakuan	Rataan
P0	**0,75 a**
P1	**0,75 a**
P2	**0,72 a**
P3	**0,74 a**

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama menujukkan perbedaan tidak nyata pada uji BNT (α = 0,05)

Bisa di lihat dari perlakuann P0, P1, P2 Dan P3 tidak berbeda nyata anatara masing masingnya.Berat volume tanah merupakan indikator penting dalam menilai tingkat kepadatan tanah yang berkaitan erat dengan porositas dan kemampuan akar tanaman untuk berkembang. Menurut penelitian oleh Zhang., perubahan berat volume tanah sangat dipengaruhi oleh kandungan bahan organik dan aktivitas mikroorganisme tanah yang berperan dalam pembentukan agregat. Namun, perubahan tersebut umumnya memerlukan waktu yang relatif lama. (Zhang et al.,2021)

Tidak adanya pengaruh nyata pada penelitian ini diduga karena beberapa faktor. Pertama, waktu aplikasi perlakuan yang relatif singkat, sehingga bahan organik atau pupuk hayati belum terdekomposisi secara optimal. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Li et al. yang menyatakan bahwa peningkatan

E-ISSN : 3063-2390
Volume 3 Nomor 2 Desember 2026

kualitas struktur tanah akibat aplikasi pupuk hayati baru terlihat signifikan setelah beberapa siklus tanam. (Li et al, 2022)

Kedua, homogenitas kondisi awal tanah juga dapat menjadi penyebab tidak terdeteksinya perbedaan nyata antar perlakuan. Nilai berat volume yang relatif seragam menunjukkan bahwa tanah pada setiap perlakuan memiliki karakteristik fisik yang hampir sama. Menurut Rahman et al., variasi kecil dalam berat volume sering kali tidak menunjukkan perbedaan signifikan secara statistik jika kondisi tanah awal relatif seragam (Rahman et al., 2023). Selain itu, hasil menunjukkan bahwa faktor kelompok berpengaruh nyata (Sig. 0,010 < 0,05), yang mengindikasikan adanya variasi kondisi lingkungan atau heterogenitas lahan percobaan. Variasi ini dapat disebabkan oleh perbedaan tekstur tanah, kelembaban, atau tingkat pemadatan tanah pada masing-masing ulangan. Penelitian oleh Singh et al. menyebutkan bahwa variasi lokasi mikro (micro-site variability) dapat memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat fisik tanah dibandingkan perlakuan itu sendiri (Singh et al., 2020)

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa perlakuan yang diberikan belum mampu memperbaiki struktur tanah secara signifikan, dan faktor lingkungan lebih dominan dalam mempengaruhi berat volume tanah.

6. Tekstur Tanah

Tekstur tanah merupakan sifat fisik tanah yang ditentukan oleh perbandingan tiga fraksi utama, yaitu pasir, debu (lanau), dan liat. Pasir memiliki ukuran partikel paling besar (0,05–2 mm) dengan tekstur kasar, tidak lengket, serta daya menahan air yang rendah namun memiliki aerasi yang baik. Debu atau lanau memiliki ukuran sedang (0,002–0,05 mm), bertekstur halus seperti tepung, mampu menahan air lebih baik daripada pasir, tetapi mudah mengalami erosi. Sementara itu, liat merupakan fraksi dengan ukuran partikel paling kecil (<0,002 mm), memiliki tekstur sangat halus dan lengket saat basah, serta kemampuan menahan air dan unsur hara yang tinggi, namun memiliki aerasi dan drainase yang buruk.

Secara keseluruhan, kombinasi ketiga fraksi ini menentukan tingkat kesuburan dan kemampuan tanah dalam mendukung pertumbuhan tanaman. Tanah yang ideal umumnya adalah tanah dengan komposisi seimbang antara pasir, debu, dan liat (tanah lempung), karena mampu menyediakan air, udara, dan unsur hara secara optimal.

P0,1: Sandy Clay Loam	P1,1: Clay Loam	P2,1: Clay Loam	P3,1: Clay Loam
P0,2: Clay Loam	P1,2: Clay Loam	P2,2: Clay Loam	P3,2: Sandy Clay Loam
P0,3: Clay Loam	P1,3: Clay Loam	P2,3: Clay Loam	P3,3: Clay Loam
P0,4: Clay Loam	P1,4: Clay Loam	P2,4 Clay Loam	P3,4: Clay Loam
P0,5: Clay Loam	P1,5: Clay Loam	P2,5: Clay Loam	P3,5: Clay Loam
P0,6: Clay Loam	P1,6: Clay Loam	P2,6: Sandy Clay Loam	P3,6: Clay Loam

E-ISSN : 3063-2390
Volume 3 Nomor 2 Desember 2026

Berdasarkan hasil klasifikasi menggunakan segitiga tekstur USDA, diperoleh dua kelas tekstur tanah, yaitu Clay Loam dan Sandy Clay Loam. Dari 24 sampel (4 perlakuan × 6 ulangan), 21 sampel (87,5%) termasuk ke dalam kelas Clay Loam, sedangkan 3 sampel (12,5%) termasuk ke dalam kelas Sandy Clay Loam.

1. Pada perlakuan P0, lima ulangan (P0,2–P0,6) memiliki tekstur Clay Loam, sedangkan satu ulangan (P0,1) tergolong Sandy Clay Loam. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan P0 didominasi oleh tanah bertekstur sedang hingga agak halus, dengan satu sampel yang memiliki kandungan pasir lebih tinggi.
2. Pada perlakuan P1, seluruh ulangan (P1,1–P1,6) diklasifikasikan sebagai Clay Loam. Keseragaman ini menunjukkan bahwa komposisi fraksi pasir, debu, dan liat pada perlakuan P1 relatif stabil sehingga menghasilkan sifat fisik tanah yang hampir sama pada setiap ulangan.
3. Pada perlakuan P2, lima ulangan (P2,1–P2,5) termasuk Clay Loam, sedangkan satu ulangan (P2,6) termasuk Sandy Clay Loam. Hal ini mengindikasikan adanya sedikit peningkatan kandungan pasir pada ulangan P2,6 dibandingkan ulangan lainnya.
4. Pada perlakuan P3, lima ulangan (P3,1, P3,3, P3,4, P3,5, dan P3,6) tergolong Clay Loam, sedangkan satu ulangan (P3,2) termasuk Sandy Clay Loam. Secara umum, perlakuan P3 juga menunjukkan dominasi tekstur Clay Loam dengan satu variasi tekstur yang lebih berpasir.

7. Liat(%)

Tidak adanya pengaruh nyata perlakuan terhadap kandungan fraksi liat menunjukkan bahwa pemberian pupuk hayati belum mampu mengubah komposisi tekstur tanah, khususnya fraksi liat. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh perlakuan memiliki notasi huruf yang sama berdasarkan uji BNT pada taraf nyata 5%, sehingga dapat disimpulkan bahwa perlakuan P0, P1, P2, dan P3 tidak memberikan perbedaan yang signifikan terhadap persentase fraksi liat tanah.. Disajikan pada Tabel di bawah tersebut.

Tabel 4.6 Rata - Rata Liat (%) Dalam Perlakuan Pemberian Pupuk Hayati

Perlakuan	Rataan
P0	**37,50a**
P1	**35,83a**
P2	**37,50a**
P3	**40,83a**

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama menujukkan tidak berbeda nyata pada uji BNT (α = 0,05)

E-ISSN : 3063-2390
Volume 3 Nomor 2 Desember 2026

Berdasarkan Tabel 4.6, nilai rataan fraksi liat pada setiap perlakuan relatif berdekatan. Meskipun terdapat perbedaan nilai secara numerik, perbedaan tersebut tidak cukup besar untuk menghasilkan pengaruh yang nyata secara statistik. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian pupuk hayati selama masa penelitian belum mampu mengubah komposisi fraksi liat tanah. Perubahan yang terjadi lebih merupakan variasi alami antar sampel dibandingkan sebagai akibat langsung dari perlakuan yang diberikan.

Kondisi tersebut dapat dijelaskan karena tekstur tanah merupakan sifat dasar (inherent property) yang terbentuk melalui proses pembentukan tanah (pedogenesis) dalam waktu yang sangat lama. Fraksi liat berasal dari proses pelapukan mineral primer yang berlangsung secara bertahap selama ratusan hingga ribuan tahun. Oleh karena itu, komposisi fraksi liat bersifat relatif permanen dan tidak mudah berubah hanya melalui perlakuan budidaya atau pemberian pupuk dalam waktu penelitian yang relatif singkat.

Pemberian pupuk hayati pada umumnya lebih berperan dalam meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah, mempercepat dekomposisi bahan organik, meningkatkan ketersediaan unsur hara, serta memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Pengaruh tersebut lebih banyak terlihat pada perbaikan struktur tanah, pembentukan agregat, porositas, kapasitas menahan air, dan efisiensi penyerapan hara oleh tanaman, bukan terhadap perubahan komposisi fraksi pasir, debu, maupun liat yang menyusun tekstur tanah. Dengan demikian, manfaat pupuk hayati lebih diarahkan pada peningkatan kualitas tanah daripada mengubah tekstur tanah itu sendiri.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Zulfa dan Bowo (2023) yang menjelaskan bahwa fraksi liat merupakan komponen mineral tanah yang memiliki kestabilan tinggi serta berkaitan erat dengan sifat mineral penyusunnya, sehingga tidak mudah mengalami perubahan akibat perlakuan pengelolaan tanah dalam jangka pendek. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa fraksi liat lebih berpengaruh terhadap sifat plastisitas dan aktivitas tanah dibandingkan mengalami perubahan akibat perlakuan budidaya.

Dengan demikian, tidak adanya perbedaan nyata antarperlakuan pada penelitian ini menunjukkan bahwa pemberian pupuk hayati belum mampu mengubah kandungan fraksi liat tanah selama periode penelitian. Hasil ini sesuai dengan teori ilmu tanah yang menyatakan bahwa tekstur tanah merupakan sifat yang relatif permanen, sehingga perubahan komposisi fraksi liat memerlukan proses alami dalam waktu yang panjang dan tidak dapat dicapai hanya melalui perlakuan agronomis dalam satu musim tanam.

4.6.2 Debu(%)

Tidak adanya pengaruh nyata perlakuan terhadap kandungan fraksi debu menunjukkan bahwa pemberian pupuk hayati belum mampu mengubah komposisi tekstur tanah, khususnya fraksi debu. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan tidak memberikan pengaruh yang nyata (P>0,05) terhadap persentase fraksi debu tanah. Rata-rata persentase fraksi debu pada setiap perlakuan disajikan pada Tabel 4.7.berikut:

Tabel 4.7 Rata – rata **Debu (%)** dalam perlakuan pemberian pupuk hayati

Perlakuan	**Rataan**

P0	**28,33a**
P1	**28,33a**
P2	**29,17a**
P3	**26,67a**

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama menujukkan tidak berbeda nyata pada uji BNT (α = 0,05)

Berdasarkan Tabel 4.7, dapat dilihat bahwa seluruh perlakuan, yaitu P0, P1, P2, dan P3, memiliki notasi huruf yang sama (a), sehingga menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang nyata antarperlakuan terhadap kandungan fraksi debu tanah. Meskipun secara numerik perlakuan P2 memiliki nilai rataan tertinggi, yaitu sebesar 29,17%, sedangkan perlakuan P3 memiliki nilai rataan terendah sebesar 26,67%, perbedaan tersebut tidak cukup besar untuk dinyatakan berbeda nyata secara statistik. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian pupuk hayati belum mampu memengaruhi perubahan kandungan fraksi debu tanah selama masa penelitian.

Fraksi debu merupakan salah satu penyusun tekstur tanah yang terbentuk melalui proses pelapukan batuan dan mineral dalam waktu yang sangat lama. Bersama fraksi pasir dan liat, fraksi debu termasuk sifat dasar tanah (inherent property) yang relatif stabil, sehingga tidak mudah mengalami perubahan akibat perlakuan budidaya dalam jangka waktu yang singkat. Oleh karena itu, pemberian pupuk hayati tidak secara langsung mengubah persentase fraksi debu, melainkan lebih berperan dalam meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah, memperbaiki ketersediaan unsur hara, serta meningkatkan kualitas fisik, kimia, dan biologi tanah.

Hasil penelitian ini sejalan dengan Zulfa dan Bowo (2023) yang menyatakan bahwa komposisi fraksi tekstur tanah merupakan karakteristik yang relatif permanen dan lebih dipengaruhi oleh proses pembentukan tanah daripada perlakuan pengelolaan dalam jangka pendek. Selain itu, berbagai penelitian menunjukkan bahwa aplikasi pupuk hayati maupun bahan organik lebih banyak memengaruhi pembentukan agregat tanah, porositas, kapasitas menahan air, serta stabilitas struktur tanah dibandingkan mengubah proporsi fraksi pasir, debu, maupun liat.Nilai rataan fraksi debu yang relatif seragam pada seluruh perlakuan, yaitu berkisar antara 26,67% hingga 29,17%, semakin memperkuat bahwa perlakuan yang diberikan tidak menyebabkan perubahan yang berarti terhadap kandungan fraksi debu. Perbedaan kecil yang muncul antarperlakuan diduga disebabkan oleh variasi alami sifat tanah dan heterogenitas lokasi penelitian, bukan sebagai akibat langsung dari pemberian pupuk hayati. Dengan demikian, hasil penelitian ini sesuai dengan teori ilmu tanah yang menyatakan bahwa tekstur tanah merupakan sifat inheren yang relatif permanen dan hanya mengalami perubahan melalui proses pembentukan tanah dalam jangka waktu yang sangat panjang.

8. Pasir(%)

Tidak adanya pengaruh nyata perlakuan terhadap kandungan fraksi pasir menunjukkan bahwa pemberian pupuk hayati belum mampu mengubah komposisi tekstur tanah, khususnya fraksi pasir. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa

E-ISSN : 3063-2390
Volume 3 Nomor 2 Desember 2026

perlakuan tidak memberikan pengaruh yang nyata (P>0,05) terhadap persentase fraksi pasir tanah. Rata-rata persentase fraksi pasir pada setiap perlakuan disajikan pada Tabel 4.8. berikut:

Tabel 4.8 Rata – rata Pasir(%) dalam perlakuan pemberian pupuk hayati

Perlakuan	Rataan
P0	**37,50a**
P1	**35,83a**
P2	**37,50a**
P3	**40,83a**

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama menujukkan tidak berbeda nyata pada uji BNT (α = 0,05)

Berdasarkan Tabel 4.8, dapat dilihat bahwa seluruh perlakuan, yaitu P0, P1, P2, dan P3, memiliki notasi huruf yang sama (a), sehingga menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang nyata antarperlakuan terhadap kandungan fraksi pasir tanah. Meskipun secara numerik perlakuan P3 memiliki nilai rataan fraksi pasir tertinggi, yaitu sebesar 40,83%, sedangkan perlakuan P1 memiliki nilai rataan terendah sebesar 35,83%, perbedaan tersebut belum cukup besar untuk dinyatakan berbeda nyata secara statistik. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian pupuk hayati belum memberikan pengaruh terhadap perubahan kandungan fraksi pasir selama periode penelitian.

Fraksi pasir merupakan komponen tekstur tanah yang tersusun atas partikel mineral berukuran 0,05–2,00 mm dan terbentuk melalui proses pelapukan fisik maupun kimia batuan induk yang berlangsung dalam waktu sangat lama. Sebagai salah satu penyusun utama tekstur tanah, fraksi pasir termasuk sifat inheren tanah yang relatif stabil sehingga tidak mudah mengalami perubahan akibat perlakuan budidaya atau pemberian pupuk dalam jangka waktu yang singkat. Oleh karena itu, aplikasi pupuk hayati tidak secara langsung memengaruhi persentase fraksi pasir, tetapi lebih berperan dalam meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah, memperbaiki siklus hara, serta meningkatkan kualitas fisik, kimia, dan biologi tanah.Hasil penelitian ini sejalan dengan Zulfa dan Bowo (2023) yang menyatakan bahwa komposisi fraksi tekstur tanah merupakan karakteristik yang relatif permanen karena ditentukan oleh proses pembentukan tanah dan bahan induk. Perubahan tekstur tanah memerlukan proses alami yang berlangsung dalam jangka waktu panjang sehingga tidak mudah dipengaruhi oleh perlakuan pengelolaan tanah dalam satu musim tanam. Selain itu, berbagai penelitian menunjukkan bahwa pemberian pupuk hayati lebih banyak memberikan pengaruh terhadap pembentukan agregat tanah, peningkatan porositas, stabilitas struktur tanah, aktivitas mikroorganisme, serta efisiensi penyerapan unsur hara oleh tanaman daripada mengubah proporsi fraksi pasir, debu, maupun liat.

Nilai rataan fraksi pasir yang relatif seragam pada seluruh perlakuan, yaitu berkisar antara 35,83% hingga 40,83%, semakin memperkuat bahwa perlakuan yang diberikan tidak menyebabkan perubahan yang berarti terhadap kandungan fraksi pasir tanah. Perbedaan kecil yang

E-ISSN : 3063-2390
Volume 3 Nomor 2 Desember 2026

muncul antarperlakuan diduga lebih dipengaruhi oleh variasi alami kondisi tanah, heterogenitas lokasi penelitian, dan faktor lingkungan lainnya dibandingkan sebagai respons langsung terhadap pemberian pupuk hayati. Dengan demikian, hasil penelitian ini mendukung teori ilmu tanah yang menyatakan bahwa tekstur tanah merupakan sifat dasar yang relatif permanen dan hanya mengalami perubahan melalui proses pedogenesis dalam jangka waktu yang sangat panjang.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai pengaruh pemberian pupuk hayati terhadap pertumbuhan tanaman selada (*Lactuca sativa L.*) serta beberapa sifat fisik tanah, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

a. Pemberian pupuk hayati berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman selada**,** dimana perlakuan terbaik diperoleh pada P3 (pemberian *Trichoderma sp.*) dengan rata-rata tinggi tanaman sebesar 25,67 cm. Hal ini menunjukkan bahwa pupuk hayati, khususnya berbasis *Trichoderma sp.*, mampu meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman melalui peningkatan ketersediaan unsur hara dan perbaikan sistem perakaran.

b. Pemberian pupuk hayati tidak berpengaruh nyata terhadap sifat fisik tanah**,** yang meliputi, Kadar air tanah, Berat volume tanah (*bulk density*), Tekstur tanah (fraksi liat, debu, dan pasir). Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan belum mampu mengubah sifat fisik tanah secara signifikan dalam jangka waktu penelitian yang relatif singkat. Faktor lingkungan dan kondisi awal tanah lebih dominan memengaruhi sifat fisik tanah dibandingkan perlakuan pupuk hayati. Variasi antar kelompok (ulangan) menunjukkan adanya pengaruh heterogenitas media tanam terhadap hasil penelitian.

c. Pupuk hayati *trichoderma sp* lebih epektif terhadap pertumbuhan tanaman selada terutama pada tinggi tanaman.

REFERENSI

Fajeriana, D., Syahrir, R., & Arman, A. (2025). Pengaruh pupuk hayati terhadap sifat fisik tanah dan pertumbuhan tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) pada tanah berkepadatan tinggi. *Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 13(1).

Hardjowigeno, S. (2018). *Ilmu Tanah*. Jakarta: Akademika Pressindo.

Hidayati, N., Triadiati, T., & Anas, I. (2025). Pemanfaatan konsorsium mikroba biofertilizer dalam memacu pertumbuhan vegetatif dan produksi biomassa selada (*Lactuca sativa* L.). *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 30(1).

Huang, L., Liu, Y., Zhang, X., & Wang, Q. (2021). Soil organic matter dynamics and its critical role in enhancing soil water retention capacity and aggregate stability. *Soil Research*, 59(4).

Kurniawan, A., Suntari, R., & Prasetya, B. (2020). Pengaruh kepadatan tanah dan penambahan bahan organik terhadap perkembangan sistem perakaran tanaman. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 7(1).

E-ISSN : 3063-2390
Volume 3 Nomor 2 Desember 2026

Lestari, D., Rahayu, S., & Mulyaningsih, E. (2022). Pengaruh media tanam dan ketersediaan hara terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman selada (*Lactuca sativa* L.). *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 13(2).

Li, Z., Zhang, R., Wang, X., & Zhao, Y. (2022). Long-term application of biofertilizer improves soil structure, porosity, and crop yield in greenhouse vegetable production. *Journal of Soils and Sediments*, 22(5).

Novia, R., Ezward, C., & Seprido, S. (2023). Respons pertumbuhan dan hasil tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) terhadap pemberian pupuk organik dan anorganik. *Jurnal Agroteknologi Tropika* , 12(1).

Rahman, M., Alam, S., & Hasan, K. (2023). Variasi kepadatan curah tanah dan resistensi mekanis pada media pertanian: Dampak pada penetrasi akar. *Tinjauan Ilmu Tanah* , 44(2).

Ramadhany, F., Sofyan, A., & Herwati, T. (2023). Karakteristik agronomi dan analisis potensi pasar tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) di wilayah perkotaan. *Jurnal Agribisnis dan Pengembangan Pertanian* , 14(1).

Rizal, S., & Susanti, R. (2018). Pemanfaatan jamur *Trichoderma* sp. sebagai agen hayati pemacu pertumbuhan tanaman hortikultura. *Jurnal Biosains Tropis* , 6(1).

Singh, R., Kumar, P., & Sharma, V. (2020). Penilaian variabilitas spasial mikro-lokasi pada sifat fisik tanah dan implikasinya pada uji coba lapangan. *Sistem Tanah* , 4(3).

Sriwati, R. (2017). *Peranan Trichoderma sp. dalam Pertanian Berkelanjutan: Pengendalian Hayati dan Biostimulan Tanaman* . Banda Aceh: Pers Universitas Syiah Kuala.

Utomo, M., Sudarsono, BS, Rusman, B., Sabrina, T., & Lumbanraja, J. (2020). *Ilmu Tanah: Dasar-dasar dan Pengelolaannya* . Jakarta: Grup Prenadamedia (Kencana).

Wang, Y., Chen, H., Sun, Z., & Zhou, J. (2022). Pengaruh inokulasi biofertilizer terhadap stabilitas agregat tanah, distribusi ukuran pori, dan ketersediaan air tanah. *Geoderma* , 412.

Yuliana, D., Purwanto, B., & Setiawan, A. (2021). Hubungan komunikasi kadar air tanah terhadap turgiditas sel dan efisiensi fisiologis tanaman sayuran daun. *Jurnal Tanah dan Iklim* , 45(1).

Zhang, T., Yang, X., & He, L. (2021). Tekstur tanah dan dampaknya terhadap kapasitas penahan air, konduktivitas hidraulik, dan struktur pori. *Geoderma* , 403.