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 Ketersediaan Nitrogen (N), Fosfor (P), Dan Ph Tanah Pada Media Tanaman Selada (*Lactuca Sativa*)"

Edo Musa Sihombing
Universitas Graha Nusantara Padangsidimpuan
Email: **esihombing045@gmail.com**

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian pupuk hayati terhadap ketersediaan nitrogen (N), fosfor (P), dan pH tanah pada media tanam selada (Lactuca sativa L.). Penelitian dilaksanakan di Kelurahan Wek V, Kecamatan Padangsidimpuan Selatan, Kota Padangsidimpuan, dan analisis laboratorium dilakukan di Laboratorium Fakultas Pertanian Universitas Graha Nusantara pada bulan Januari–Februari 2026. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) nonfaktorial dengan empat perlakuan, yaitu P0 (kontrol), P1 (PHC Hantu), P2 (APH Bio Biagma), dan P3 (Trichoderma sp.), masing-masing diulang sebanyak enam kali sehingga diperoleh 24 satuan percobaan. Parameter yang diamati meliputi ketersediaan nitrogen (N), ketersediaan fosfor (P), dan pH tanah. Data dianalisis menggunakan analisis sidik ragam (ANOVA) dan dilanjutkan dengan uji Tukey HSD pada taraf nyata 5% apabila terdapat pengaruh nyata. hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian pupuk hayati tidak berpengaruh nyata terhadap ketersediaan nitrogen tanah (P>0,05), meskipun secara deskriptif perlakuan P3 menghasilkan kandungan nitrogen tertinggi sebesar 0,7517%. Sebaliknya, pemberian pupuk hayati berpengaruh nyata terhadap ketersediaan fosfor tanah (P<0,05), dengan perlakuan P3 menghasilkan kandungan fosfor tertinggi sebesar 11,7967. Nilai pH tanah pada seluruh perlakuan berkisar antara 5,95–6,54, dengan nilai tertinggi juga diperoleh pada perlakuan P3 sebesar 6,54. Secara umum, perlakuan P3 merupakan perlakuan terbaik karena mampu meningkatkan ketersediaan fosfor secara nyata, meningkatkan kandungan nitrogen secara deskriptif, serta memperbaiki kondisi pH tanah menuju kisaran yang sesuai bagi pertumbuhan tanaman selada

Kata kunci **:** *pupuk hayati, nitrogen, fosfor, pH tanah, selada (Lactuca sativa L.)*

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

Abstract

*This study aimed to determine the effect of biofertilizer application on the availability of nitrogen (N) and phosphorus (P) and on soil pH in the growing medium of lettuce (*Lactuca sativa* L.). The research was conducted in Wek V Urban Village, South Padangsidimpuan District, Padangsidimpuan City, with laboratory analysis performed at the Faculty of Agriculture Laboratory, Graha Nusantara University, during January–February 2026. A non-factorial Randomized Block Design (RBD) was employed with four treatments: P0 (control), P1 (PHC Hantu), P2 (APH Bio Biagma), and P3 (*Trichoderma* sp.). Each treatment was replicated six times, resulting in 24 experimental units. The parameters observed included nitrogen (N) availability, phosphorus (P) availability, and soil pH. Data were analyzed using Analysis of Variance (ANOVA), followed by the Tukey HSD test at a 5% significance level if significant effects were found. The results showed that biofertilizer application did not significantly affect soil nitrogen availability (P>0.05), although, descriptively, treatment P3 yielded the highest nitrogen content at 0.7517%. Conversely, biofertilizer application significantly affected soil phosphorus availability (P<0.05), with treatment P3 producing the highest phosphorus content at 11.7967. Soil pH values across all treatments ranged from 5.95 to 6.54, with the highest value (6.54) also observed in treatment P3. Overall, treatment P3 was the best treatment, as it significantly increased phosphorus availability, descriptively increased nitrogen content, and improved soil pH conditions toward a range suitable for lettuce growth.*

Keywords*: biofertilizer, nitrogen, phosphorus, soil pH, lettuce (*Lactuca sativa* L.)*

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

PENDAHULUAN

Tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) merupakan salah satu sayuran daun yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan banyak dikonsumsi masyarakat karena kandungan nutrisinya yang baik serta waktu panennya yang relatif cepat (Dewanti et al., 2024; Rahmah et al., 2022). Produktivitas tanaman selada sangat ditentukan oleh kesuburan tanah, terutama ketersediaan unsur hara nitrogen (N) dan Fosfor (P) serta pH tanah, yang berperan penting dalam proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Kumar, 2022). Unsur N berfungsi sebagai komponen utama dalam sintesis asam amino, protein, dan klorofil, sedangkan P penting dalam pembelahan sel, transfer energi, dan pembentukan akar yang sehat (Brady & Weil, 2022). pH tanah sendiri memengaruhi ketersediaan hara dan aktivitas mikroba tanah, sehingga berpengaruh secara langsung terhadap daya serap tanaman terhadap N dan P (Kumar, 2022; Havlin et al., 2022).

Kondisi media tanam tanah awal sebelum perlakuan menunjukkan bahwa ketersediaan hara makro sering kali berada dalam status suboptimal atau terikat. Berdasarkan analisis karakteristik tanah awal, kandungan nitrogen tanah umumnya didominasi oleh bentuk nitrogen organik kompleks yang belum dapat diserap langsung oleh sistem perakaran selada sebelum terombak melalui proses mineralisasi (Hardjowigeno, 2018; Utomo et al., 2020). Selain itu, ketersediaan fosfor (P-tersedia) alami tanah tergolong sangat rendah karena sebagian besar ion fosfat terjerap kuat (*phosphate fixation*) oleh senyawa oksida besi (Fe) dan aluminium (Al) pada tanah masam, atau terikat oleh kalsium (Ca) (Havlin et al., 2022; Putri et al., 2023). Derajat keasaman (pH) tanah awal yang belum berada pada rentang ideal (6,0–7,0) juga membatasi kelarutan ion hara bebas serta menghambat aktivitas biologis mikroorganisme perombak alami (Dewanti et al., 2024).

Dalam konteks peningkatan ketersediaan unsur hara tanah, mikroorganisme yang terkandung dalam pupuk hayati memiliki peran yang sangat kompleks dan spesifik. Mikroorganisme tersebut tidak hanya berfungsi sebagai dekomposer, tetapi juga sebagai agen biologis yang mampu memobilisasi, mentransformasi, dan meningkatkan efisiensi pemanfaatan unsur hara oleh tanaman (Verma et al., 2021). Secara

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

umum, bakteri dan mikroba dalam pupuk hayati memiliki beberapa fungsi utama dalam menyediakan unsur hara, yaitu:

1. Bakteri Penambat Nitrogen (*Nitrogen Fixing Bacteria*): Bakteri seperti *Azotobacter*, *Azospirillum*, dan *Rhizobium* berfungsi mengikat nitrogen bebas (N_2) dari atmosfer melalui proses fiksasi nitrogen biologis dan mengubahnya menjadi bentuk tersedia seperti amonium (NH^+_4) dan nitrat (NO^-_3) (Singh et al., 2021). Proses ini sangat penting karena sebagian besar nitrogen di alam berada dalam bentuk gas yang tidak dapat langsung dimanfaatkan oleh tanaman. Menurut Singh et al. (2021) dan Zhang et al. (2023), bakteri penambat nitrogen mampu meningkatkan efisiensi penggunaan nitrogen hingga 20–40% serta memperbaiki kesuburan tanah secara berkelanjutan.
2. Bakteri Pelarut Fosfat (*Phosphate Solubilizing Bacteria/PSB*): Mikroorganisme seperti *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., dan *Enterobacter* sp. berperan dalam melarutkan fosfor terikat di dalam tanah. Fosfor umumnya berada dalam bentuk tidak larut karena terikat oleh Fe, Al, dan Ca (Putri et al., 2023). Bakteri ini menghasilkan asam organik (seperti asam sitrat dan asam glukonat) serta enzim fosfatase yang mampu mengubah fosfor menjadi bentuk tersedia ($N_2PO^-_4$ dan $HPO^{2}_4^-$). Penelitian Sharma et al. (2022) dan Kumar et al. (2024) menunjukkan bahwa aktivitas bakteri pelarut fosfat dapat meningkatkan ketersediaan P tanah hingga 30–60%.
3. Bakteri Dekomposer (*Decomposer Microorganisms*): Bakteri heterotrof seperti *Bacillus* sp., *Clostridium* sp., serta jamur seperti *Trichoderma* sp. berfungsi dalam proses dekomposisi bahan organik. Mikroorganisme ini menguraikan bahan organik menjadi senyawa sederhana yang menghasilkan unsur hara seperti nitrogen, fosfor, kalium, serta unsur mikro lainnya (Sutanto, 2019). Selain itu, *Trichoderma* juga berperan sebagai agen hayati yang meningkatkan kesehatan

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

tanah dan merangsang pertumbuhan akar (Sriwati, 2017). Menurut Verma et al. (2021) dan FAO (2022), aktivitas dekomposer berkontribusi besar terhadap peningkatan kesuburan biologis tanah.

4. Bakteri Pemacu Pertumbuhan Tanaman (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria/PGPR*): Kelompok bakteri seperti *Azospirillum*, *Pseudomonas fluorescens*, dan *Bacillus subtilis* tidak hanya menyediakan unsur hara, tetapi juga menghasilkan hormon pertumbuhan seperti auksin, giberelin, dan sitokinin (Pratama & Yuliana, 2020). Hormon tersebut dapat meningkatkan pertumbuhan akar sehingga penyerapan unsur hara menjadi lebih optimal. Menurut Backer et al. (2021) dan Olanrewaju et al. (2022), PGPR berperan penting dalam meningkatkan efisiensi serapan hara dan produktivitas tanaman.

Mikroorganisme dekomposer tersebut umumnya terdapat dalam pupuk hayati. Pupuk hayati mengandung mikroba hidup yang berfungsi sebagai pengurai bahan organik, penambat nitrogen, dan pelarut fosfat. Menurut Saraswati et al. (2022), pupuk hayati yang mengandung bakteri heterotrof, bakteri penambat nitrogen non-simbiotik, serta bakteri pelarut fosfat mampu meningkatkan aktivitas biologis tanah dan mempercepat dekomposisi bahan organik. Hasil dekomposisi tersebut berkontribusi langsung terhadap peningkatan ketersediaan nitrogen dan fosfor serta dapat memengaruhi pH tanah melalui proses biologis yang terjadi (Dewanti et al., 2024).

Selain meningkatkan ketersediaan unsur hara, penggunaan pupuk hayati sebagai sumber mikroorganisme dekomposer juga dapat memperbaiki keseimbangan biologi tanah dan menciptakan lingkungan rizosfer yang lebih kondusif bagi pertumbuhan tanaman (Olanrewaju et al., 2022). Menurut FAO (2022), integrasi bahan organik dengan pupuk hayati merupakan salah satu strategi penting dalam sistem pertanian berkelanjutan karena mampu meningkatkan kesuburan tanah jangka panjang tanpa merusak lingkungan.

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

Pupuk hayati merupakan salah satu input pertanian yang mengandung mikroorganisme hidup yang berperan dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara anorganik di dalam tanah melalui proses biologis. Unsur hara anorganik, seperti nitrogen (N) dan fosfor (P), merupakan unsur esensial yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar dan harus tersedia dalam bentuk ion yang dapat diserap oleh akar tanaman (Havlin et al., 2022). Namun, dalam kondisi alami, sebagian besar unsur hara tersebut berada dalam bentuk terikat atau kompleks sehingga tidak langsung tersedia bagi tanaman (Brady & Weil, 2022).

Dalam kaitannya dengan nitrogen, pupuk hayati yang mengandung bakteri penambat nitrogen non-simbiotik seperti *Azotobacter* dan *Azospirillum* mampu mengikat nitrogen bebas (N_2) dari atmosfer dan mengubahnya menjadi bentuk anorganik seperti amonium (NH^+_4) dan nitrat (NO^-_3) yang dapat diserap oleh tanaman. Menurut Brady dan Weil (2022), proses fiksasi nitrogen biologis ini berkontribusi signifikan dalam meningkatkan kandungan nitrogen tersedia di dalam tanah serta mengurangi ketergantungan terhadap pupuk nitrogen sintetis.

Selain nitrogen, pupuk hayati juga berperan dalam meningkatkan ketersediaan fosfor anorganik. Fosfor di dalam tanah umumnya terikat oleh unsur besi (Fe), aluminium (Al), atau kalsium (Ca), sehingga sulit diserap oleh tanaman (Putri et al., 2023). Mikroorganisme pelarut fosfat yang terdapat dalam pupuk hayati, seperti *Pseudomonas*, *Bacillus*, dan jamur *Trichoderma* sp., menghasilkan asam organik dan enzim fosfatase yang mampu melarutkan fosfor terikat menjadi ion fosfat anorganik ($N_2PO^-_4$ dan $HPO^{2}_4^-$) (Kumar et al., 2024). Havlin et al. (2022) menyatakan bahwa aktivitas mikroba pelarut fosfat merupakan mekanisme penting dalam meningkatkan efisiensi pemanfaatan fosfor tanah.

Penggunaan pupuk hayati juga dapat memengaruhi dinamika pH tanah yang berkaitan erat dengan ketersediaan unsur hara anorganik. Aktivitas mikroorganisme selama proses dekomposisi dan mineralisasi menghasilkan senyawa asam organik maupun pelepasan kation basa yang dapat memengaruhi reaksi tanah

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

(Dewanti et al., 2024). Menurut FAO (2022), perubahan pH akibat aktivitas biologis mikroorganisme dapat meningkatkan kelarutan unsur hara tertentu, sehingga memperbaiki ketersediaan hara anorganik bagi tanaman.

Berdasarkan uraian permasalahan dan kondisi tanah tersebut, penelitian ini penting dilakukan untuk mengetahui pengaruh pemberian berbagai formulasi pupuk hayati (Pupuk Hayati Cair Hantu, APH Bio Biagma, dan isolat *Trichoderma* sp.) terhadap ketersediaan Nitrogen (N), Fosfor (P), dan pH tanah pada budidaya tanaman selada (*Lactuca sativa* L.).

A. 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. Pendekatan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah survei eksploratif dengan metode observasional di lapangan tanpa memberikan perlakuan atau manipulasi terhadap objek penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan secara empiris hubungan antara aktivitas serangga penyerbuk dengan keberhasilan pembentukan buah pada tanaman aren dalam kondisi alami. Dengan pendekatan ini, data yang diperoleh mencerminkan kondisi ekologi yang sebenarnya, sehingga hasil penelitian memiliki validitas ekologis yang tinggi.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah benih selada *(Lectuca sativa L).* tanah pupuk kandang , sekam padi pupuk hayati (trichoderman sp.pupuk organik cair hantu APH bio biagma*).* Air ploybang, cangkul emeber, gelas,ukur,botol hantu semprot (sprayer), suntik imbangan analitik, penggaris, buku tulis, dan kamera.

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 dengan dosis 10 ml pupuk hayati dengan 5000 ml air dan setiap per polybag 450 ml pengapliksian pupuk hayati. Perlakuan yang diuji adalah :

Kontrol/tanpa pupuk hayati)

P1 : Pupuk Hayati Hantu

P2 : APH Bio Biagma

P3 : Trichoderma sp.

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

Pemberian Trichoderma sp, dilakukan 1 kali seminggu sejak tanaman berumur 7 hari setelah tanam (HST) hingga umur panen

Langkah-langkah pelaksanaan penelitian ini disusun secara sistematis untuk memastikan kegiatan penelitian berjalan terarah dan menghasilkan data yang akurat. Adapun tahapan pelaksanaan penelitian adalah sebagai berikut:

1. **Persiapan Lahan**

   Tahap awal penelitian dimulai dengan persiapan lahan, yang meliputi pemilihan lokasi penelitian yang sesuai serta pembersihan lahan dari gulma, sisa tanaman, dan benda-benda lain yang dapat mengganggu proses penelitian. Lahan yang telah bersih kemudian diratakan untuk memudahkan penempatan polybag.

2. **Persiapan Media Tanam**

   Media tanam yang digunakan berupa tanah yang telah diayak terlebih dahulu untuk memisahkan dari kerikil, sisa akar, dan bahan kasar lainnya. Tanah yang telah halus kemudian dimasukkan ke dalam polybag dengan kapasitas ±5 kg per polybag. Polybag disusun secara teratur sesuai dengan jarak yang telah ditentukan.

3. **Persemaian dan Penanaman Bibit**

   Benih selada disemai terlebih dahulu menggunakan media semai yang terdiri dari campuran tanah, pupuk kandang, dan sekam padi dengan perbandingan yang sesuai. Media semai dimasukkan ke dalam wadah/polybag kecil, kemudian benih ditanam dan dirawat hingga berkecambah. Setelah berumur ±7 hari atau telah memiliki daun awal, bibit selada dipindahkan (transplanting) ke dalam polybag yang telah disiapkan. Jarak antar polybag diatur sekitar 20 cm untuk memberikan ruang tumbuh yang optimal bagi tanaman.

4. **Pemberian Perlakuan**

   Pemberian pupuk hayati dilakukan sesuai dengan perlakuan yang telah ditentukan. Aplikasi pupuk hayati dilakukan pertama kali pada umur 7 hari setelah tanam (HST) dan selanjutnya diberikan secara rutin

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

satu kali dalam seminggu. Jenis pupuk hayati yang digunakan meliputi:

a. *Trichoderma sp.*
b. PHC Hantu
c. APH Bio Biagma

Masing-masing diberikan dengan dosis 10 ml PHC dan 5000 ml air per tanaman. Sementara itu, pada perlakuan kontrol tidak diberikan pupuk hayati. Pemberian pupuk dilakukan secara hati-hati agar merata pada media tanam.

5. Pemeliharaan Tanaman

Pemeliharaan tanaman dilakukan secara rutin untuk mendukung pertumbuhan optimal, yang meliputi:

a. Penyiraman**,** dilakukan setiap hari atau disesuaikan dengan kondisi kelembapan tanah
b. Penyiangan gulma**,** dilakukan secara berkala untuk menghindari persaingan unsur hara

6. Pengamatan dan Pengukuran

Pengamatan dilakukan secara berkala setiap minggu sejak tanaman dipindahkan ke polybag hingga menjelang panen. Parameter yang diamati meliputi pertumbuhan tanaman seperti tinggi tanaman, jumlah daun, dan kondisi umum tanaman.

7. Panen

Panen tanaman selada dilakukan pada umur 45 hari setelah tanam (HST). Tanaman dipanen dengan cara mencabut seluruh bagian tanaman secara hati-hati agar tidak merusak struktur akar. Setelah panen, dilakukan pengukuran parameter hasil seperti bobot segar tanaman.

8. Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel tanah dilakukan sebelum atau saat panen menggunakan **cylinder ring (core ring)**. Prosedur pengambilan sampel dilakukan dengan cara:

a. Menancapkan ring ke dalam media tanam (polybag) secara perlahan hingga penuh

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

b. Mengangkat ring dengan hati-hati agar struktur tanah tidak terganggu
c. Memastikan sampel tanah tetap utuh di dalam ring

9. Pengolahan dan Analisis Sampel

Sampel tanah yang telah diambil dimasukkan ke dalam wadah atau plastik yang sesuai dan diberi label sesuai perlakuan. Selanjutnya, sampel dianalisis di Laboratorium Universitas Graha Nusantara Padangsidimpuan untuk mengukur sifat fisik tanah, seperti berat isi tanah dan kadar air tanah melalui metode pembakaran (oven). Data yang diperoleh kemudian dianalisis secara statistik untuk mengetahui pengaruh pemberian pupuk hayati terhadap sifat fisik media tanam dan pertumbuhan tanaman selada

B. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengertian Tanaman Selada (Lactuca sativa L.)

Selada (*Lactuca sativa* L.) merupakan salah satu komoditas sayuran daun semusim dari famili Asteraceae yang memiliki nilai ekonomi tinggi serta permintaan pasar yang stabil dan terus meningkat. Meningkatnya kesadaran masyarakat perkotaan maupun pedesaan akan pola hidup sehat mendorong konsumsi selada segar karena kaya akan serat pangan, provitamin A, vitamin C, asam folat, serta antioksidan alami (Lestari et al., 2022; Dewanti et al., 2024). Tanaman ini memiliki siklus vegetatif yang relatif singkat, berkisar antara 30 hingga 45 hari setelah tanam (HST), sehingga sangat ideal dan adaptif dibudidayakan secara intensif baik di lahan terbuka maupun menggunakan wadah polybag (Ramadhany et al., 2023).

2. Konsep Dasar dan Mekanisme Pupuk Hayati

Pupuk hayati (biofertilizer) didefinisikan sebagai formulasi biologis yang mengandung sel-sel inokulan mikroorganisme hidup (bakteri, fungi, atau aktinomiset) yang memiliki fungsi spesifik dalam meningkatkan status kesuburan tanah dan efisiensi serapan hara tanaman melalui jalur biogeokimia alami (Saraswati et al., 2022). Berbeda dengan pupuk anorganik sintetis yang

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

memasok ion hara secara langsung namun rentan mengalami pencucian (leaching) dan volatilisasi, pupuk hayati bertindak sebagai bioreaktor alami di daerah rizosfer (Singh et al., 2021). Keberadaan konsorsium mikroorganisme fungsional ini mampu memperbaiki mutu lingkungan fisik, kimia, dan biologi tanah secara berkesinambungan tanpa merusak keseimbangan ekosistem (Ghiglione et al., 2025; FAO, 2022).

3. Tinjauan Karakteristik Mikroorganisme pada Perlakuan yang Diuji

a. Jamur Trichoderma sp. (Perlakuan P3)

Trichoderma sp. merupakan fungi tanah saprofitik yang tersebar luas dan telah diakui secara global sebagai agens hayati multifungsi, yakni sebagai agens pengendali hayati (biological control agent), dekomposer bahan organik, sekaligus perangsang pertumbuhan tanaman (plant growth promoter) (Sriwati, 2017; Verma et al., 2021). Fungi ini memiliki miselium yang tumbuh cepat dan mampu mengolonisasi permukaan akar tanaman secara rapat. Hifa Trichoderma sp. memproduksi spektrum enzim pendegradasi dinding sel yang sangat luas, meliputi selulase, hemiselulase, glukanase, dan kitinase (Rizal & Susanti, 2018). Enzim-enzim ini mempercepat biodegradasi residu organik pada media tanam (seperti sisa sekam dan pupuk kandang), sehingga membebaskan nitrogen dan mineral penting lainnya ke dalam matriks tanah (Sutanto, 2019).

b. Formulasi Pupuk Hayati Agens Pengendali Hayati (APH) Bio Biagma (Perlakuan P2)

APH Bio Biagma merupakan formulasi pupuk hayati cair dan agens hayati berbasis konsorsium mikroorganisme fungsional terpadu (Saraswati et al., 2022). Produk ini mengombinasikan bakteri rizosfer pemacu pertumbuhan tanaman (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*/PGPR) unggul seperti genus *Bacillus* sp. dan *Pseudomonas* sp. dengan mikroba fungsional lainnya (Olanrewaju et al., 2022). Sinergisme

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

antarpopulasi bakteri di dalam konsorsium ini memungkinkan berlangsungnya fungsi biologis ganda: pengikatan hara secara simbiotik maupun non-simbiotik serta pelepasan metabolit penekan stres lingkungan (Backer et al., 2021).

c. Formulasi Pupuk Hayati Cair Jimmy Hantu (Perlakuan P1)

Formulasi Pupuk Hayati Cair (PHC) Hantu merupakan sediaan biostimulan dan inokulan biologis yang diproses melalui teknologi fermentasi bahan-bahan organik dan nabati alami (Dewanti et al., 2024; Rahmawati et al., 2021). Formulasi ini mengandung konsorsium mikroba perombak seperti *Bacillus* sp., *Trichoderma* sp., dan bakteri aktinomiset (*Actinomycetes* sp.) yang diperkaya dengan 17 asam amino esensial, vitamin alami, serta hormon pertumbuhan endogen (auksin, sitokinin, dan giberelin) (Saraswati et al., 2022; Pratama & Yuliana, 2020).

4. Dinamika Nitrogen (N) Total dalam Tanah

Nitrogen (N) merupakan unsur hara makro primer yang paling dinamis di dalam tanah dan dibutuhkan dalam kuantitas paling banyak untuk pertumbuhan vegetatif tanaman (Brady & Weil, 2022). Sekitar 95% hingga 98% dari total nitrogen tanah berada dalam bentuk ikatan polimer organik (seperti protein, asam nukleat, dan asam amino) yang tidak dapat diabsorpsi secara langsung oleh perakaran tanaman sebelum mengalami mineralisasi (Hardjowigeno, 2018; Havlin et al., 2022).

5. Fosfor (P) dalam Tanah

Fosfor merupakan unsur hara makro yang memegang peranan krusial dalam metabolisme energi sel (pembentukan ATP), pembelahan sel pada titik tumbuh, perkembangan akar, serta pembentukan dinding sel.

6. pH Tanah dan Pengaruhnya terhadap Ketersediaan Unsur Hara

Derajat keasaman (pH) tanah merupakan indikator utama tingkat kesuburan kimiawi tanah karena mengontrol daya larut unsur hara,

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

potensi keracunan ion logam, serta aktivitas mikroorganisme rizosfer. Tanah dengan pH yang terlalu masam dapat meningkatkan kelarutan aluminium dan besi yang beracun bagi perakaran serta mengendapkan ion fosfor, sementara tanah dengan pH yang terlalu tinggi (basa) dapat menurunkan ketersediaan unsur mikro seperti seng, besi, dan tembaga.

7. Hubungan Pupuk Hayati dengan Sifat Kimia Tanah

Sifat kimia tanah, yang meliputi pH tanah, kapasitas tukar kation, bahan organik, serta ketersediaan hara makro (N, P, K), merupakan penentu utama produktivitas tanaman di media tanam. Pupuk hayati memiliki peran strategis dalam merevitalisasi sifat kimia tersebut melalui mekanisme biologis mikroorganisme fungsional yang terkandung di dalamnya.

8. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan kajian teoritis dan kerangka pemikiran yang telah diuraikan pada tinjauan pustaka, maka hipotesis dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

a. Pemberian berbagai jenis pupuk hayati diduga berpengaruh nyata terhadap peningkatan ketersediaan nitrogen total (N) tanah pada budidaya tanaman selada (*Lactuca sativa* L.)
b. Pemberian berbagai jenis pupuk hayati diduga berpengaruh nyata terhadap peningkatan ketersediaan fosfor (P) tanah pada budidaya tanaman selada (*Lactuca sativa* L.), di mana perlakuan agens hayati *Trichoderma* sp. (P3) diduga menghasilkan ketersediaan fosfor tertinggi akibat tingginya sekresi asam-asam organik dan aktivitas enzim fosfatase ekstraseluler dalam melarutkan ikatan fosfat tidak larut.
c. Pemberian berbagai jenis pupuk hayati diduga berpengaruh nyata terhadap perubahan dan stabilisasi nilai derajat keasaman (pH) tanah menuju kisaran netral (6,0–7,0) yang optimum bagi tanaman selada, yang didorong oleh pelepasan kation-kation basa selama proses perombakan biologis di zona perakaran.

9. Ketersediaan Nitrogen (N) %

Nitrogen (N) merupakan salah satu unsur hara makro esensial yang

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

sangat dibutuhkan tanaman dalam menunjang pertumbuhan vegetatif. Unsur nitrogen berperan dalam pembentukan klorofil, sintesis protein, pembentukan asam amino, enzim, serta berbagai senyawa metabolisme lainnya yang berhubungan langsung dengan pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, peningkatan ketersediaan nitrogen di dalam tanah menjadi salah satu indikator penting dalam menilai keberhasilan penggunaan pupuk hayati sebagai upaya memperbaiki kesuburan tanah.

Berdasarkan hasil analisis laboratorium terhadap kandungan nitrogen tanah setelah pemberian pupuk hayati, diperoleh rata-rata kandungan nitrogen pada setiap perlakuan sebagaimana disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Rata-rata Kandungan Nitrogen (N) Tanah pada Berbagai Perlakuan Pupuk Hayati

Perlakuan	Rataan (%)
P0	**0,7100**
P1	**0,7383**
P2	**0,7467**
P3	**0,7517**

Sumber: Hasil analisis data SPSS (2026).

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

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa kandungan nitrogen tanah cenderung mengalami peningkatan setelah pemberian pupuk hayati. Perlakuan P3 menghasilkan rata-rata kandungan nitrogen tertinggi yaitu sebesar 0,7517%, diikuti oleh perlakuan P2 sebesar 0,7467%, perlakuan P1 sebesar 0,7383%, sedangkan perlakuan kontrol (P0) memiliki kandungan nitrogen terendah yaitu sebesar 0,7100%. Secara deskriptif, data tersebut menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan kandungan nitrogen tanah pada perlakuan yang memperoleh aplikasi pupuk hayati dibandingkan dengan perlakuan tanpa pemberian pupuk hayati.

Hasil analisis sidik ragam (ANOVA) menunjukkan bahwa perlakuan pupuk hayati memberikan nilai signifikansi (Sig.) sebesar 0,166 atau lebih besar dari taraf nyata 5% (0,05). Dengan demikian, pemberian pupuk hayati tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kandungan nitrogen tanah. Nilai F hitung perlakuan sebesar 1,946 juga menunjukkan bahwa variasi yang terjadi antarperlakuan belum mampu menghasilkan perbedaan yang signifikan. Sebaliknya, faktor kelompok memiliki nilai signifikansi sebesar 0,010, yang menunjukkan bahwa perbedaan kelompok atau ulangan memberikan pengaruh nyata terhadap variasi kandungan nitrogen selama penelitian.

Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa hipotesis yang menyatakan pemberian pupuk hayati berpengaruh terhadap peningkatan kandungan nitrogen tanah belum dapat diterima pada taraf kepercayaan 95%. Walaupun demikian, kecenderungan peningkatan nilai nitrogen pada perlakuan P1, P2, dan terutama P3 menunjukkan bahwa mikroorganisme yang terkandung dalam pupuk hayati tetap memberikan respons positif terhadap proses penyediaan unsur nitrogen di dalam tanah.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan pupuk hayati belum memberikan pengaruh yang nyata terhadap kandungan nitrogen tanah berdasarkan hasil analisis statistik. Akan tetapi, adanya peningkatan nilai rata-rata nitrogen pada seluruh

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

perlakuan yang menggunakan pupuk hayati dibandingkan kontrol menunjukkan bahwa pupuk hayati tetap memiliki potensi dalam meningkatkan ketersediaan nitrogen tanah. Potensi tersebut diharapkan akan menjadi lebih nyata apabila penggunaan pupuk hayati dilakukan secara berkesinambungan sehingga populasi mikroorganisme dapat berkembang secara optimal dan menjalankan fungsi biologisnya secara lebih efektif.

10. Ketersediaan Fosfor (P)

Fosfor (P) merupakan salah satu unsur hara makro esensial yang memiliki peranan sangat penting dalam mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Unsur fosfor berfungsi dalam proses pembentukan energi (ATP), pembelahan sel, perkembangan sistem perakaran, pembentukan bunga dan buah, serta mempercepat proses metabolisme tanaman. Selain itu, fosfor juga berperan dalam meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara lainnya sehingga keberadaannya di dalam tanah sangat menentukan tingkat kesuburan tanah dan produktivitas tanaman. Berbeda dengan nitrogen yang relatif mudah mengalami perubahan bentuk di dalam tanah, fosfor umumnya berada dalam bentuk yang terikat dengan unsur besi (Fe), aluminium (Al), maupun kalsium (Ca), sehingga tidak seluruhnya tersedia untuk diserap oleh tanaman. Oleh karena itu, salah satu tujuan pemberian pupuk hayati dalam penelitian ini adalah meningkatkan ketersediaan fosfor melalui aktivitas mikroorganisme pelarut fosfat. Berdasarkan hasil analisis laboratorium terhadap kandungan fosfor tanah setelah pemberian pupuk hayati, diperoleh rata-rata kandungan fosfor pada setiap perlakuan sebagaimana disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Rata-rata Kandungan Fosfor (P) Tanah pada Berbagai Perlakuan Pupuk Hayati

Perlakuan	Rataan
P0	**4,0733**
P1	**7,8033**

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

P2	**6,6033**
P3	**11,7967**

Sumber: Hasil analisis data SPSS (2026).

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa pemberian pupuk hayati memberikan peningkatan kandungan fosfor tanah pada setiap perlakuan dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Perlakuan P3 menghasilkan kandungan fosfor tertinggi dengan nilai rata-rata sebesar 11,7967, diikuti oleh perlakuan P1 sebesar 7,8033, perlakuan P2 sebesar 6,6033, sedangkan perlakuan P0 (kontrol) memiliki kandungan fosfor paling rendah yaitu sebesar 4,0733. Secara deskriptif terlihat adanya peningkatan kandungan fosfor yang cukup besar pada perlakuan yang mendapatkan aplikasi pupuk hayati, terutama pada perlakuan P3.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian pupuk hayati mampu meningkatkan kandungan fosfor tanah secara nyata. Perlakuan P3 merupakan perlakuan terbaik dengan kandungan fosfor tertinggi dan berbeda nyata dibandingkan perlakuan kontrol. Hasil ini menunjukkan bahwa pupuk hayati memiliki potensi yang besar dalam meningkatkan efisiensi penyediaan unsur fosfor di dalam tanah melalui aktivitas mikroorganisme pelarut fosfat. Dengan meningkatnya ketersediaan fosfor, diharapkan proses pertumbuhan tanaman selada berlangsung lebih optimal karena kebutuhan unsur hara untuk pembentukan energi, perkembangan akar, dan pertumbuhan vegetatif dapat terpenuhi dengan lebih baik.

11. pH Tanah

Derajat keasaman tanah (pH) merupakan salah satu indikator penting dalam menentukan tingkat kesuburan tanah. Nilai pH berpengaruh terhadap ketersediaan unsur hara, aktivitas mikroorganisme tanah, serta kemampuan akar tanaman dalam menyerap unsur hara yang diperlukan untuk pertumbuhan. Tanah dengan nilai pH yang sesuai

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

akan menciptakan kondisi yang optimum bagi proses mineralisasi bahan organik, aktivitas mikroorganisme, serta pelarutan unsur hara, sehingga tanaman dapat tumbuh dan berkembang dengan lebih baik. Sebaliknya, apabila nilai pH terlalu rendah (masam) atau terlalu tinggi (basa), maka ketersediaan unsur hara akan menurun sehingga dapat menghambat pertumbuhan tanamanSalah satu tujuan pemberian pupuk hayati pada penelitian ini adalah untuk memperbaiki kondisi biologis tanah sehingga secara tidak langsung mampu memperbaiki sifat kimia tanah, termasuk nilai pH. Mikroorganisme yang terkandung di dalam pupuk hayati berperan dalam proses dekomposisi bahan organik, mineralisasi unsur hara, serta menghasilkan berbagai senyawa yang dapat memengaruhi keseimbangan ion di dalam tanah.

Berdasarkan hasil analisis laboratorium terhadap nilai pH tanah setelah pemberian pupuk hayati diperoleh rata-rata nilai pH sebagaimana disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Rata-rata Nilai pH Tanah pada Berbagai Perlakuan Pupuk Hayati

Perlakuan	Rataan
P0	**6,15**
P1	**5,95**
P2	**5,96**
P3	**6,54**

Sumber: Hasil analisis laboratorium dan pengolahan data penelitian (2026).

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa nilai pH tanah pada seluruh perlakuan berkisar antara 5,95 sampai 6,54**.** Nilai pH tertinggi diperoleh pada perlakuan P3 dengan rata-rata sebesar 6,54**,** sedangkan nilai pH terendah terdapat pada perlakuan P1 yaitu sebesar 5,95**.** Perlakuan P2

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

memiliki rata-rata pH sebesar 5,96**,** sedangkan perlakuan kontrol (P0) memiliki nilai pH sebesar 6,15**.** Secara deskriptif terlihat bahwa pemberian pupuk hayati memberikan perubahan terhadap nilai pH tanah, walaupun perubahan tersebut tidak terlalu besar.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai pH tanah pada seluruh perlakuan berada pada kisaran 5,95–6,54, dengan perlakuan P3 menghasilkan nilai pH tertinggi yaitu 6,54**.** Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pemberian pupuk hayati berpotensi memperbaiki reaksi tanah menuju kondisi yang lebih sesuai bagi pertumbuhan tanaman selada. Meskipun perubahan pH yang terjadi relatif kecil, hasil penelitian ini memberikan indikasi bahwa penggunaan pupuk hayati secara berkelanjutan dapat membantu menjaga stabilitas pH tanah, meningkatkan aktivitas mikroorganisme, memperbaiki kesuburan tanah, serta mendukung peningkatan produktivitas tanaman.

C. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh pemberian pupuk hayati terhadap ketersediaan nitrogen (N), fosfor (P), dan pH tanah pada tanaman selada, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemberian pupuk hayati tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap ketersediaan nitrogen (N) tanah. Hasil analisis sidik ragam (ANOVA) menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,166 (P>0,05)**.** Meskipun demikian, secara deskriptif terjadi peningkatan rata-rata kandungan nitrogen pada setiap perlakuan yang diberi pupuk hayati dibandingkan dengan perlakuan kontrol, dengan nilai tertinggi diperoleh pada perlakuan P3 sebesar 0,7517%**.**
2. Pemberian pupuk hayati memberikan pengaruh nyata terhadap ketersediaan fosfor (P) tanah. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,048 (P<0,05) Perlakuan P3 menghasilkan kandungan fosfor tertinggi yaitu sebesar 11,7967, sehingga dapat dinyatakan sebagai perlakuan yang paling efektif dalam meningkatkan ketersediaan fosfor tanah.

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

3. Pemberian pupuk hayati memberikan perubahan terhadap nilai pH tanah**,** dengan kisaran pH antara 5,95–6,54. Nilai pH tertinggi diperoleh pada perlakuan P3 yaitu sebesar 6,54, yang menunjukkan kecenderungan perbaikan kondisi kimia tanah menuju kisaran pH yang lebih sesuai bagi pertumbuhan tanaman selada.

D. REFERENSI

Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., et al. (2021). *Plant growth-promoting rhizobacteria: Context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture*. Frontiers in Plant Science, 12, 630829.

Brady, N. C., & Weil, R. R. (2022). *The Nature and Properties of Soils* (16th ed.). Pearson

Dewanti, R., Suryanto, A., & Nugroho, B. (2024). Pengaruh pupuk hayati terhadap sifat kimia tanah dan pertumbuhan tanaman selada. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia, 29(1), 45–56.

FAO. (2022). *Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations

Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2022). S*oil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management* (9th ed.). Pearson

Kumar, A., Singh, R., & Sharma, P. (2024). *Phosphate-solubilizing microorganisms and their role in sustainable agriculture*. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 24(1), 1–15

Olanrewaju, O. S., Glick, B. R., & Babalola, O. O. (2022). *Mechanisms of action of plant growth-promoting bacteria. Plants*, 11(7), 900.

Rahmah, S., Putra, D., & Lestari, E. (2022). Ketersediaan nitrogen dan fosfor pada tanah budidaya hortikultura. Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan, 9(2), 215–224.

Saraswati, R., Simanungkalit, R. D. M., & Husen, E. (2022). Pupuk Hayati dan Aplikasi Mikroorganisme dalam Pertanian Berkelanjutan. Balai Penelitian Tanah.

Singh, J., Kumar, P., & Verma, A. (2021). *Biological nitrogen fixation and sustainable crop production. Agronomy*, 11(8), 1502**.**

Verma, J. P., Yadav, J., & Tiwari, K. N. (2021). *Role of beneficial* microorganisms in improving soil fertility. Microbiological Research, 246, 126708.