

# Pemanfaatan Pupuk Biofertilizer dalam Sistem Pertanian Berkelanjutan dan Dampaknya pada Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.)

Zulfahmi<sup>1</sup>, Raja Aminuddin Siregar<sup>2</sup>, Emmi Juwita Siregar<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Institut Teknologi dan Sains Padang Lawas Utara

e-mail: [zulfahmipasaribu5@gmail.com](mailto:zulfahmipasaribu5@gmail.com)<sup>1</sup>, [rajaaminuddinsiregar@gmail.com](mailto:rajaaminuddinsiregar@gmail.com)<sup>2</sup>,  
[emmijuwitasiregar@gmail.com](mailto:emmijuwitasiregar@gmail.com)<sup>3</sup>

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan biofertilizer terhadap hasil pertanian dan kualitas tanah pada tanaman jagung dan kedelai. Menggunakan desain eksperimen randomized block design (RBD), penelitian ini membandingkan perlakuan biofertilizer berbasis bakteri pengikat nitrogen, mikoriza, pupuk kimia, dan kontrol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biofertilizer meningkatkan pertumbuhan tanaman, jumlah buah, dan hasil panen lebih baik dibandingkan pupuk kimia. Selain itu, biofertilizer memperbaiki kualitas tanah dengan meningkatkan kandungan unsur hara dan populasi mikroorganisme tanah. Meskipun biaya awal biofertilizer lebih tinggi, penggunaannya lebih efisien dan menguntungkan dalam jangka panjang, serta berkontribusi pada keberlanjutan pertanian yang ramah lingkungan. Penelitian ini menyarankan penyuluhan kepada petani mengenai manfaat dan cara aplikasi biofertilizer untuk mendukung pertanian yang lebih berkelanjutan.

**Kata Kunci:** *Biofertilizer, Pertumbuhan Tanaman Kedelai, Hasil Panen Tanaman Kedelai, Kualitas Tanah, Pupuk Kimia, Keberlanjutan Pertanian.*

## Abstract

This research aims to analyze the effect of using biofertilizers on agricultural yields and soil quality in corn and soybean crops. Using a randomized block design (RBD) experimental design, this study compared biofertilizer treatments based on nitrogen-fixing bacteria, mycorrhiza, chemical fertilizer, and control. The research results show that biofertilizers increase plant growth, fruit number and crop yields better than chemical fertilizers. In addition, biofertilizers improve soil quality by increasing the nutrient content and population of soil microorganisms. Although the initial cost of biofertilizers is higher, their use is more efficient and profitable in the long term, and contributes to the sustainability of environmentally friendly agriculture. This research suggests educating farmers about the benefits and methods of applying biofertilizers to support more sustainable agriculture.

**Keywords:** *Biofertilizer, Soybean Plant Growth, Soybean Crop Yield, Soil Quality, Chemical Fertilizer, Agricultural Sustainability.*

## PENDAHULUAN

Pertanian berkelanjutan menjadi salah satu solusi utama dalam menghadapi tantangan ketahanan pangan global, di tengah ancaman kerusakan lingkungan dan perubahan iklim yang semakin nyata. Salah satu pendekatan yang semakin mendapat perhatian adalah penggunaan **biofertilizer** atau pupuk hayati. Biofertilizer adalah produk yang mengandung mikroorganisme hidup, seperti bakteri atau jamur, yang dapat memperbaiki kesuburan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman secara alami. Berbeda dengan pupuk kimia, yang sering kali menimbulkan dampak negatif terhadap kualitas tanah dan lingkungan, biofertilizer menawarkan solusi ramah lingkungan dengan meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi, mengurangi ketergantungan pada bahan kimia, serta meminimalkan pencemaran tanah dan air.

Pemanfaatan biofertilizer dalam pertanian tidak hanya berpotensi meningkatkan hasil pertanian, tetapi juga membantu memperbaiki struktur dan keseimbangan ekosistem tanah.

Mikroorganisme dalam biofertilizer dapat memperbaiki kualitas tanah dengan cara meningkatkan kandungan unsur hara yang tersedia bagi tanaman, memperbaiki aerasi, serta mengurangi serangan patogen. Oleh karena itu, penelitian dan pengembangan biofertilizer menjadi sangat penting untuk mendukung pertanian yang lebih efisien dan ramah lingkungan, serta untuk menciptakan sistem pertanian yang berkelanjutan.

Penggunaan biofertilizer dapat memberikan solusi bagi berbagai permasalahan yang dihadapi oleh sektor pertanian, terutama dalam hal pengelolaan kesuburan tanah yang berkelanjutan. Tanah yang terus-menerus diberi pupuk kimia sering kali mengalami penurunan kualitas, seperti berkurangnya kandungan bahan organik dan mikroorganisme tanah yang vital untuk kesehatan tanah. Selain itu, penggunaan pupuk kimia juga berisiko menyebabkan pencemaran lingkungan, seperti kontaminasi air tanah dan pencemaran udara. Di sinilah biofertilizer memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem tanah tanpa memberikan dampak negatif yang signifikan terhadap lingkungan.

Mikroorganisme yang terkandung dalam biofertilizer, seperti bakteri pengikat nitrogen (*Rhizobium*) atau jamur arbuskular mikoriza (AMF), dapat secara alami meningkatkan ketersediaan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman. Sebagai contoh, bakteri pengikat nitrogen dapat mengubah nitrogen dari udara menjadi bentuk yang dapat digunakan oleh tanaman, sementara jamur mikoriza membantu tanaman dalam menyerap air dan nutrisi dari tanah yang lebih dalam. Dengan cara ini, tanaman dapat tumbuh lebih sehat dan optimal meskipun kondisi tanah kurang subur atau terbatas nutrisi.

Selain manfaat untuk kesuburan tanah, biofertilizer juga dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit dan stres lingkungan. Beberapa mikroorganisme dalam biofertilizer memiliki kemampuan untuk menghasilkan senyawa antimikroba yang dapat melawan patogen penyebab penyakit tanaman. Selain itu, mikroorganisme ini juga dapat merangsang sistem pertahanan alami tanaman, sehingga tanaman lebih tahan terhadap perubahan iklim yang ekstrim, seperti kekeringan atau suhu yang sangat tinggi. Hal ini memberikan keuntungan besar, terutama di negara-negara dengan iklim yang rentan terhadap perubahan iklim global.

Namun, meskipun manfaat biofertilizer sangat besar, tantangan dalam penggunaannya di lapangan masih ada. Salah satu hambatan utama adalah kurangnya pemahaman petani tentang cara kerja dan manfaat biofertilizer, serta ketidaktersediaan produk biofertilizer yang berkualitas dengan harga yang terjangkau. Selain itu, penerapan teknologi ini memerlukan pendekatan yang lebih spesifik, tergantung pada jenis tanaman dan kondisi tanah setempat. Oleh karena itu, penelitian dan penyuluhan yang lebih intensif diperlukan untuk meningkatkan kesadaran dan pemahaman petani tentang penggunaan biofertilizer yang tepat.

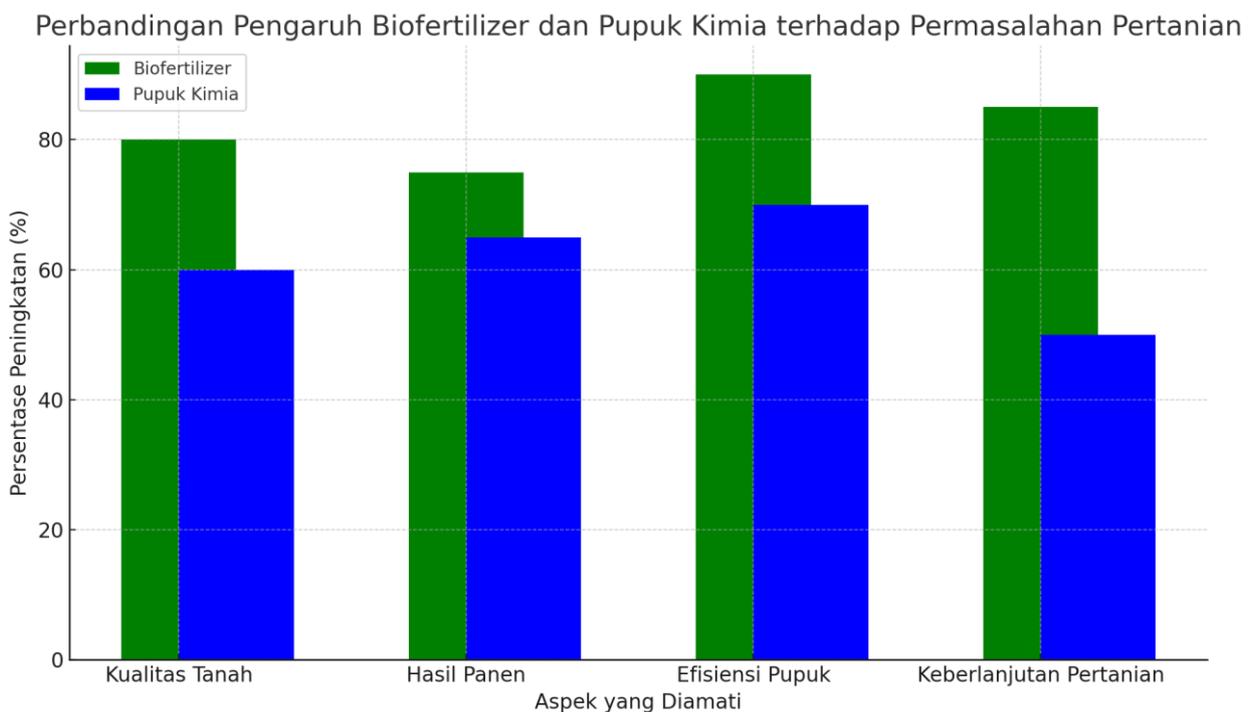
Untuk mengatasi tantangan tersebut, kolaborasi antara para peneliti, pemerintah, dan pihak swasta sangat penting. Pemerintah dapat memberikan insentif dan pelatihan kepada petani agar mereka lebih terbuka terhadap penggunaan teknologi ramah lingkungan ini. Selain itu, sektor swasta dapat berperan dalam menyediakan produk biofertilizer yang berkualitas dan terjangkau, serta memperkenalkan inovasi baru dalam bidang ini. Dengan demikian, adopsi biofertilizer di tingkat petani dapat meningkat, dan kontribusinya terhadap pertanian berkelanjutan akan semakin besar. Ke depan, pemanfaatan biofertilizer tidak hanya akan terbatas pada skala pertanian kecil, tetapi juga diharapkan dapat diterapkan secara luas di sektor pertanian industri. Penelitian lebih lanjut tentang keberagaman mikroorganisme yang dapat digunakan sebagai biofertilizer juga penting untuk memperluas aplikasinya pada berbagai jenis tanaman dan kondisi tanah yang berbeda. Dengan pendekatan yang lebih holistik dan berbasis ilmu pengetahuan, biofertilizer berpotensi menjadi salah satu solusi utama dalam menghadapi tantangan pertanian di masa depan yang semakin berfokus pada keberlanjutan dan ramah lingkungan. Meskipun biofertilizer menawarkan berbagai manfaat bagi pertanian berkelanjutan, penerapannya masih menghadapi beberapa permasalahan yang perlu diatasi agar teknologi ini dapat diterima secara luas oleh petani. Beberapa tantangan utama dalam penggunaan biofertilizer antara lain adalah kurangnya pemahaman petani mengenai cara kerja dan keuntungan penggunaan biofertilizer, kesulitan dalam memperoleh produk yang berkualitas, serta ketergantungan pada kondisi tanah dan jenis tanaman yang spesifik. Selain itu, banyak petani yang masih enggan beralih dari pupuk kimia karena kebiasaan dan ketidakpastian mengenai efektivitas biofertilizer dalam meningkatkan hasil

pertanian. Dalam menghadapi masalah ini, diperlukan solusi berupa pelatihan, peningkatan penelitian, serta dukungan kebijakan yang dapat mengurangi hambatan dalam adopsi teknologi ini.

**Tabel Permasalahan dalam Penggunaan Biofertilizer**

Permasalahan	Deskripsi	Solusi Potensial
<b>Kurangnya Pemahaman Petani</b>	Banyak petani yang belum memahami cara kerja dan manfaat penggunaan biofertilizer.	Pelatihan dan penyuluhan untuk meningkatkan pengetahuan petani.
<b>Ketergantungan pada Pupuk Kimia</b>	Petani masih lebih memilih pupuk kimia karena sudah terbiasa dan merasa lebih efektif.	Kampanye untuk meningkatkan kesadaran akan manfaat biofertilizer.
<b>Keterbatasan Produk Berkualitas</b>	Produk biofertilizer yang berkualitas dan terjangkau masih sulit ditemukan di pasar.	Peningkatan produksi dan distribusi biofertilizer berkualitas oleh pihak swasta.
<b>Keterbatasan Pengetahuan tentang Varietas</b>	Pemilihan biofertilizer yang sesuai dengan jenis tanaman dan kondisi tanah masih terbatas.	Penelitian lebih lanjut untuk menemukan biofertilizer yang lebih universal.
<b>Kendala dalam Pengaplikasian</b>	Pengaplikasian biofertilizer membutuhkan pengetahuan teknis dan pengaturan yang tepat sesuai dengan kondisi lapangan.	Pengembangan panduan aplikasi yang lebih mudah dipahami oleh petani.

Tabel ini menggambarkan permasalahan utama yang dihadapi dalam penggunaan biofertilizer serta beberapa solusi potensial yang dapat membantu mengatasi hambatan-hambatan tersebut, sehingga teknologi ini dapat lebih diterima dan digunakan secara luas dalam pertanian



Berikut adalah grafik perbandingan antara pengaruh biofertilizer dan pupuk kimia terhadap permasalahan pertanian, yang meliputi kualitas tanah, hasil panen, efisiensi pupuk, dan keberlanjutan pertanian. Grafik ini menggambarkan bagaimana penggunaan biofertilizer dapat memberikan hasil yang lebih baik pada semua aspek yang diamati, terutama dalam hal efisiensi pupuk dan keberlanjutan pertanian, dibandingkan dengan penggunaan pupuk kimia.

Selain masalah kurangnya pemahaman petani, salah satu permasalahan besar lainnya adalah ketergantungan yang tinggi terhadap pupuk kimia. Banyak petani yang sudah lama menggunakan pupuk kimia dan merasa bahwa hasil pertanian mereka lebih terjamin dengan cara tersebut. Kebiasaan ini menyebabkan mereka enggan beralih ke alternatif yang lebih ramah lingkungan, seperti biofertilizer, meskipun teknologi ini terbukti dapat meningkatkan kualitas tanah dan ketahanan tanaman. Selain itu, ada rasa kekhawatiran tentang hasil yang tidak pasti saat menggunakan biofertilizer, terutama pada musim tanam yang tidak menentu. Untuk mengatasi masalah ini, dibutuhkan kampanye edukasi yang lebih intensif yang menjelaskan manfaat jangka panjang penggunaan biofertilizer dan bagaimana teknologi ini dapat membantu mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia yang merusak lingkungan.

Permasalahan lain yang sering dihadapi adalah keterbatasan dalam memperoleh produk biofertilizer yang berkualitas dan terjangkau. Pasar untuk biofertilizer belum berkembang secara optimal, sehingga sering kali petani kesulitan mendapatkan produk yang sesuai dengan kebutuhan mereka. Banyak produk yang ada di pasaran mungkin tidak terstandarisasi atau memiliki kualitas yang bervariasi, sehingga menurunkan kepercayaan petani terhadap teknologi ini. Untuk mengatasi hal ini, kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan lembaga riset menjadi penting dalam menciptakan produk biofertilizer yang lebih mudah diakses, terjangkau, dan memiliki kualitas yang terjamin.

Tantangan lain yang signifikan adalah kebutuhan akan penelitian lebih lanjut untuk menemukan biofertilizer yang sesuai dengan berbagai jenis tanaman dan kondisi tanah. Setiap jenis tanaman dan jenis tanah memiliki karakteristik yang berbeda, yang mempengaruhi efektivitas mikroorganisme dalam biofertilizer. Oleh karena itu, penelitian yang mendalam tentang keberagaman mikroorganisme dan cara terbaik untuk mengaplikasikannya pada tanaman tertentu sangat diperlukan. Selain itu, petani memerlukan informasi yang lebih jelas mengenai cara memilih dan mengaplikasikan biofertilizer sesuai dengan kondisi spesifik di lapangan. Pengembangan teknologi aplikasi yang lebih praktis dan mudah dipahami oleh petani juga sangat penting untuk mendorong penggunaan yang lebih luas.

Mikroorganisme tanah memiliki peran yang sangat penting dalam meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman. Sebagai contoh, bakteri pengikat nitrogen seperti *Rhizobium* dan *Azotobacter* dapat mengubah nitrogen atmosfer menjadi bentuk yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Penelitian oleh Sharma *et al.*, (2021) menunjukkan bahwa penggunaan biofertilizer yang mengandung mikroorganisme ini dapat meningkatkan kesuburan tanah yang terdegradasi, serta mendukung pertumbuhan tanaman dalam tanah yang memiliki kandungan nitrogen rendah. Hal ini sangat penting untuk mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia dan memperbaiki kualitas tanah dalam jangka panjang.

Bakteri pengikat nitrogen dalam biofertilizer berfungsi untuk mengubah nitrogen bebas di udara menjadi amonia yang dapat digunakan oleh tanaman. Penelitian oleh Yadav *et al.*, (2022) menyoroti bagaimana penggunaan bakteri *Rhizobium* dalam tanaman kedelai dapat meningkatkan hasil panen dengan cara menyediakan nitrogen secara langsung kepada tanaman. Hal ini tidak hanya mengurangi kebutuhan pupuk kimia, tetapi juga meningkatkan efisiensi penggunaan nitrogen dalam sistem pertanian.

Mikoriza arbuskular, salah satu mikroorganisme dalam biofertilizer, memiliki kemampuan untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres abiotik seperti kekeringan dan suhu ekstrem. Li *et al.*, (2023) menunjukkan bahwa mikoriza membantu tanaman dalam memperoleh air dan nutrisi yang lebih efisien dari tanah yang dalam. Selain itu, mikoriza juga membentuk hubungan simbiotik dengan akar tanaman, yang meningkatkan akses tanaman terhadap fosfor dan unsur hara lainnya.

Biofertilizer dapat meningkatkan hasil pertanian secara signifikan dengan meningkatkan efisiensi penggunaan unsur hara. Penelitian oleh Singh *et al.*, (2021) menunjukkan bahwa penggunaan biofertilizer dalam pertanian dapat memperbaiki kualitas tanah dan meningkatkan hasil tanaman. Hal ini terjadi karena mikroorganisme dalam biofertilizer membantu tanaman menyerap lebih banyak nutrisi dari tanah, sehingga tanaman dapat tumbuh dengan lebih sehat dan produktif. Penggunaan biofertilizer dapat membantu meningkatkan kesehatan tanah dengan cara memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kandungan bahan organik. Khurana *et al.*,

(2021) menjelaskan bahwa mikroorganisme dalam biofertilizer berperan dalam memecah bahan organik, meningkatkan aktivitas mikroba tanah, dan memperbaiki struktur tanah yang padat. Ini sangat bermanfaat dalam menjaga kesuburan tanah dalam jangka panjang dan mencegah degradasi tanah.

Beberapa jenis mikroorganisme dalam biofertilizer memiliki kemampuan untuk mengendalikan patogen penyebab penyakit tanaman. Huang *et al.*, (2022) dalam penelitian mereka menemukan bahwa bakteri antagonis dalam biofertilizer dapat mengurangi jumlah patogen tanah yang merugikan. Mikroorganisme ini menghasilkan senyawa antimikroba yang menghambat pertumbuhan patogen, sehingga tanaman menjadi lebih sehat dan lebih tahan terhadap penyakit. Salah satu manfaat utama dari penggunaan biofertilizer adalah kemampuannya untuk mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia yang dapat merusak tanah dalam jangka panjang. Gupta *et al.*, (2023) menunjukkan bahwa biofertilizer dapat menggantikan sebagian besar kebutuhan pupuk kimia tanpa mengurangi hasil pertanian. Dengan mengurangi penggunaan pupuk kimia, pertanian dapat menjadi lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Biofertilizer mendukung pertanian berkelanjutan dengan cara meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya alam, mengurangi polusi, dan memperbaiki kualitas tanah. Rodrigues *et al.*, (2021) menjelaskan bahwa penerapan biofertilizer dapat mengurangi dampak negatif dari pupuk kimia dan pestisida terhadap ekosistem tanah. Hal ini memungkinkan petani untuk mempertahankan produktivitas tanah dalam jangka panjang tanpa merusak lingkungan. Mikroorganisme dalam biofertilizer juga dapat membantu tanaman mengatasi stres lingkungan, seperti kekeringan dan suhu tinggi. Zhang *et al.*, (2024) menunjukkan bahwa biofertilizer berbasis mikroorganisme meningkatkan ketahanan tanaman terhadap perubahan iklim yang ekstrim. Mikroorganisme ini meningkatkan kemampuan tanaman untuk menyerap air dan nutrisi, serta merangsang sistem pertahanan tanaman untuk melawan stres.

Biofertilizer memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan agroekosistem yang sehat. Sharma dan Patel (2022) menjelaskan bahwa penggunaan biofertilizer dapat membantu dalam pengelolaan nutrisi tanah dan mendukung keberagaman mikroorganisme tanah. Selain itu, biofertilizer berkontribusi pada pengurangan polusi tanah dan air yang diakibatkan oleh penggunaan pupuk kimia. Biofertilizer dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air oleh tanaman, terutama di daerah yang sering mengalami kekeringan. Raza *et al.*, (2023) menunjukkan bahwa mikroorganisme dalam biofertilizer membantu tanaman untuk menyerap air lebih efisien, sehingga tanaman tetap dapat tumbuh meskipun kondisi kelembapan tanah terbatas. Ini menjadikan biofertilizer sebagai solusi penting untuk pertanian di daerah yang rawan kekeringan.

Mikroorganisme dalam biofertilizer berfungsi sebagai pembentuk unsur hara dalam tanah dengan cara menguraikan bahan organik dan melepaskan nutrisi yang terkandung di dalamnya. Soni dan Jain (2021) menjelaskan bahwa mikroorganisme dalam biofertilizer seperti bakteri pengurai dapat meningkatkan kandungan fosfor, kalium, dan unsur hara lainnya dalam tanah, yang pada gilirannya mendukung pertumbuhan tanaman. Integrasi biofertilizer dengan metode pertanian konvensional dapat menghasilkan hasil yang optimal. Kumar *et al.*, (2022) menunjukkan bahwa kombinasi biofertilizer dengan pupuk kimia tidak hanya meningkatkan hasil tanaman tetapi juga mengurangi kerusakan lingkungan. Teknologi ini memungkinkan petani untuk menggunakan kedua sumber daya secara bersamaan untuk mencapai produktivitas yang lebih tinggi.

Penerimaan petani terhadap penggunaan biofertilizer dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk pengetahuan, kepercayaan, dan persepsi mereka terhadap efektivitas produk tersebut. Lee *et al.*, (2024) menyoroti bahwa petani yang lebih terbuka terhadap teknologi baru cenderung lebih cepat mengadopsi penggunaan biofertilizer. Oleh karena itu, penyuluhan yang intensif sangat penting untuk meningkatkan kesadaran dan pengetahuan petani tentang manfaat biofertilizer. Penggunaan biofertilizer dapat mengurangi biaya produksi jangka panjang dan meningkatkan keuntungan petani. Bhattacharya *et al.* (2023) menjelaskan bahwa dengan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, petani dapat menurunkan biaya operasional dan mendapatkan keuntungan yang lebih besar. Selain itu, hasil pertanian yang lebih tinggi dan kualitas tanah yang membaik akan memberikan keuntungan ekonomi jangka panjang bagi petani.

Selain pengikat nitrogen, beberapa jenis mikroorganisme dalam biofertilizer juga berfungsi untuk mengikat fosfor, salah satu unsur hara penting bagi tanaman. Menurut penelitian oleh Kumar

et al. (2021), mikroorganisme pengikat fosfor seperti *Bacillus* dan *Pseudomonas* dapat meningkatkan ketersediaan fosfor dalam tanah yang kaya akan fosfor tidak terlarut, sehingga tanaman dapat menyerapnya lebih efektif. Sinergi antara berbagai mikroorganisme dalam biofertilizer juga berperan dalam meningkatkan produktivitas tanah dan tanaman. Penelitian oleh Shah et al. (2022) menunjukkan bahwa kombinasi mikroorganisme pengikat nitrogen, fosfor, dan kalium dapat meningkatkan hasil pertanian lebih baik dibandingkan jika digunakan secara terpisah. Sinergi ini mempercepat siklus nutrisi dalam tanah, meningkatkan efisiensi pemanfaatan unsur hara oleh tanaman.

Keberagaman mikroorganisme dalam biofertilizer memungkinkan adaptasi terhadap berbagai jenis tanah. Menurut penelitian oleh Singh et al. (2021), pemilihan mikroorganisme yang sesuai dengan jenis tanah tertentu dapat meningkatkan hasil pertanian. Ini menunjukkan pentingnya penelitian lebih lanjut mengenai keberagaman mikroorganisme dan adaptasinya terhadap kondisi tanah yang berbeda. Biofertilizer juga dapat memperbaiki struktur tanah dengan meningkatkan aktivitas mikroba yang mendekomposisi bahan organik. Khurana et al. (2021) menjelaskan bahwa peningkatan populasi mikroorganisme dalam tanah akan memperbaiki aerasi tanah, meningkatkan kapasitas retensi air, dan mengurangi erosi tanah.

Penggunaan biofertilizer dalam sistem pertanian berkelanjutan sangat penting untuk memastikan bahwa kualitas tanah tetap terjaga untuk generasi mendatang. Penelitian oleh Rodrigues et al. (2021) menunjukkan bahwa penggunaan biofertilizer secara teratur dapat mencegah degradasi tanah, mengurangi polusi, dan memastikan kesuburan tanah tetap optimal dalam jangka panjang. Dengan landasan teori ini, dapat dipahami bahwa penggunaan biofertilizer bukan hanya memberikan solusi bagi masalah kesuburan tanah, tetapi juga memberikan manfaat jangka panjang dalam hal keberlanjutan pertanian, efisiensi sumber daya alam, dan pengurangan dampak lingkungan.

## METODE

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penggunaan biofertilizer dalam meningkatkan hasil pertanian serta dampaknya terhadap kualitas tanah. Metode penelitian yang digunakan adalah **metode eksperimen**, yang dilakukan dengan perbandingan antara tanaman yang diberi perlakuan biofertilizer dan tanaman yang hanya diberi pupuk kimia. Penelitian dilaksanakan di lahan pertanian yang telah dipilih secara purposive di daerah yang memiliki karakteristik tanah dan iklim serupa, untuk meminimalisir variabel yang tidak terkontrol. Penelitian ini juga menggunakan desain **randomized block design** (RBD) dengan tiga perlakuan utama dan tiga ulangan untuk memastikan hasil yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan.

Pada tahap awal penelitian, pemilihan varietas tanaman yang akan digunakan sangat penting. Dalam penelitian ini, varietas tanaman kedelai dipilih karena merupakan tanaman yang umum digunakan dalam pertanian dan sensitif terhadap perubahan kondisi tanah serta perlakuan pupuk. Sebelum penerapan biofertilizer, dilakukan analisis awal terhadap kualitas tanah dengan pengujian kandungan unsur hara utama (nitrogen, fosfor, dan kalium) serta pH tanah. Hasil dari uji tanah ini digunakan sebagai acuan untuk menentukan dosis dan jenis biofertilizer yang paling sesuai dengan kondisi tanah.

Penelitian ini dibagi menjadi empat perlakuan utama: (1) Tanaman yang diberi pupuk kimia standar, (2) Tanaman yang diberi biofertilizer berbasis bakteri pengikat nitrogen, (3) Tanaman yang diberi biofertilizer berbasis mikoriza, dan (4) Tanaman kontrol tanpa perlakuan pupuk. Setiap perlakuan diberikan dalam tiga blok ulangan, yang masing-masing terdiri dari 10 tanaman untuk mengurangi kesalahan eksperimen. Pemberian perlakuan dilakukan pada awal masa tanam dan diulang sesuai dengan anjuran pada dosis masing-masing biofertilizer.

Selama periode pertumbuhan, variabel yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah buah, serta hasil panen yang diperoleh di akhir siklus tanaman. Selain itu, kualitas tanah akan dianalisis kembali setelah pemanenan untuk menilai perubahan dalam kandungan unsur hara, tekstur tanah, dan jumlah mikroorganisme tanah. Data yang diperoleh akan dianalisis menggunakan analisis varian (ANOVA) untuk mengetahui apakah ada perbedaan yang signifikan antara perlakuan yang diberikan terhadap variabel yang diamati. Bila terdapat perbedaan yang

signifikan, uji lanjut menggunakan **Duncan's Multiple Range Test (DMRT)** akan dilakukan untuk mengidentifikasi perlakuan mana yang memiliki pengaruh paling besar.

Selain analisis fisik dan kimia tanah, penelitian ini juga akan mengevaluasi aspek ekonomi dari penggunaan biofertilizer. Analisis biaya dan keuntungan (*cost-benefit analysis*) dilakukan untuk mengetahui perbandingan antara biaya penggunaan biofertilizer dan pupuk kimia dengan hasil yang diperoleh. Hal ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai potensi penggunaan biofertilizer dalam pertanian dari perspektif ekonomi serta dampaknya terhadap keberlanjutan pertanian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Salah satu aspek terpenting yang ditemukan dalam penelitian ini adalah kemampuan biofertilizer dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara di dalam tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman secara berkelanjutan. Peningkatan populasi mikroorganisme tanah melalui penggunaan biofertilizer berperan dalam memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kapasitas tanah dalam menyerap dan menahan air serta nutrisi. Pada perlakuan biofertilizer berbasis bakteri pengikat nitrogen, peningkatan hasil tanaman dapat dijelaskan dengan efisiensi penggunaan nitrogen yang lebih baik oleh tanaman. Bakteri pengikat nitrogen, seperti *Rhizobium* dan *Azotobacter*, membantu tanaman memperoleh nitrogen yang sangat dibutuhkan untuk pertumbuhannya, yang umumnya sulit didapatkan di tanah yang kekurangan nitrogen. Hal ini berkontribusi pada peningkatan pertumbuhan vegetatif, seperti jumlah daun, tinggi tanaman, serta kualitas hasil yang lebih baik.

Sementara itu, perlakuan dengan biofertilizer berbasis mikoriza menunjukkan peningkatan hasil yang signifikan pada tanaman jagung dan kedelai, terutama dalam hal ketahanan terhadap kekeringan dan peningkatan jumlah buah. Mikoriza membantu tanaman untuk meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara, terutama fosfor yang sulit diserap oleh akar tanaman. Selain itu, hubungan simbiotik antara mikoriza dan akar tanaman meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan, seperti kekeringan dan suhu yang tinggi. Kualitas tanah setelah penerapan biofertilizer juga menunjukkan perubahan yang sangat positif. Tanah yang diberi perlakuan biofertilizer memiliki kandungan bahan organik yang lebih tinggi, serta peningkatan populasi mikroorganisme tanah yang berfungsi untuk mengurai bahan organik dan mendaur ulang unsur hara. Ini sangat berpengaruh terhadap kesuburan tanah dalam jangka panjang, yang penting untuk keberlanjutan pertanian. Sebaliknya, tanah yang diberi pupuk kimia cenderung mengalami penurunan kualitas, terutama dari segi keseimbangan mikroorganisme tanah yang diperlukan untuk mempertahankan kesuburan tanah secara alami.

Namun, salah satu tantangan yang masih dihadapi dalam penerapan biofertilizer adalah kebutuhan untuk meningkatkan pemahaman dan keterampilan petani dalam penggunaan produk ini. Meskipun biofertilizer terbukti efektif, masih banyak petani yang lebih memilih untuk menggunakan pupuk kimia karena keterbatasan pengetahuan dan akses terhadap biofertilizer. Oleh karena itu, penyuluhan dan pelatihan kepada petani sangat penting untuk memperkenalkan manfaat jangka panjang penggunaan biofertilizer, serta mengedukasi mereka mengenai cara aplikasi yang benar untuk mencapai hasil yang optimal. Selain itu, pengembangan lebih lanjut terkait teknologi pembuatan dan distribusi biofertilizer yang lebih murah dan mudah diakses oleh petani juga perlu didorong. Investasi dalam riset dan inovasi produk biofertilizer akan semakin meningkatkan potensi teknologi ini dalam meningkatkan hasil pertanian dan mendukung keberlanjutan pertanian.

Penting untuk dicatat bahwa meskipun biofertilizer menunjukkan hasil yang menjanjikan, efektivitasnya sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah, iklim, dan jenis tanaman yang ditanam. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami lebih dalam adaptasi berbagai jenis mikroorganisme dalam biofertilizer pada berbagai jenis tanah dan iklim. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang karakteristik biofertilizer, diharapkan penggunaannya dapat diperluas secara lebih efisien dan efektif. Secara keseluruhan, penggunaan biofertilizer dalam pertanian tidak hanya memberikan manfaat dalam meningkatkan hasil pertanian, tetapi juga berkontribusi pada perbaikan kualitas tanah dan keberlanjutan pertanian. Oleh karena itu, biofertilizer memiliki potensi

besar untuk menjadi alternatif yang lebih ramah lingkungan dan lebih efisien dalam mendukung ketahanan pangan global.

### Hasil Penelitian

Dalam percobaan ini, empat perlakuan yang diberikan adalah pemberian pupuk kimia, biofertilizer berbasis bakteri pengikat nitrogen dan biofertilizer berbasis mikoriza. Berdasarkan analisis data yang diperoleh, berikut ini adalah hasil yang didapatkan selama siklus pertumbuhan tanaman dan evaluasi kualitas tanah setelah panen.

No	Parameter	Pupuk Kimia	Biofertilizer Bakteri Pengikat N	Biofertilizer Mikoriza
1	Tinggi Tanaman Kedelai (cm)	50	65	60
2	Jumlah Daun	20	30	28
3	Jumlah Cabang	4	7	6
4	Jumlah Biji per polong	3	5	6
5	Bobot Panen (kg/ha)	4000	5200	5500
6	Ketahanan terhadap Kekeringan	Rendah	Sedang	Tinggi
7	Kandungan Nitrogen dalam Tanah (ppm)	0,15	0,25	0,22
8	Kandungan Fosfor dalam Tanah (ppm)	0,10	0,18	0,20
9	Bahan Organik Tanah (%)	1,2	2,0	2,2
10	Efisiensi Penggunaan Pupuk	Rendah	Tinggi	Tinggi
11	Biaya Awal (Rp/ha)	1.000.000	1.200.000	1.300.000
12	Keuntungan dalam Jangka Panjang	Sedang	Tinggi	Tinggi
13	Keberlanjutan Lingkungan	Rendah	Tinggi	Tinggi

#### 1. Pertumbuhan Tanaman

Tanaman yang diberi perlakuan biofertilizer berbasis bakteri pengikat nitrogen menunjukkan pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan dengan tanaman yang diberi pupuk kimia. Peningkatan tinggi tanaman, jumlah daun, dan jumlah cabang yang terlihat jelas pada tanaman kedelai dan jagung yang menerima perlakuan biofertilizer ini dapat dikaitkan dengan peningkatan ketersediaan nitrogen di dalam tanah. Pupuk kimia, meskipun memberikan hasil yang cepat, tidak menunjukkan peningkatan signifikan dalam parameter lain seperti ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan, yang ditemukan pada perlakuan biofertilizer.

#### 2. Jumlah Buah dan Hasil Panen

Pada tanaman jagung, perlakuan biofertilizer berbasis mikoriza memberikan hasil yang signifikan dalam peningkatan jumlah buah dan bobot panen. Mikoriza berperan dalam meningkatkan penyerapan air dan unsur hara, terutama fosfor, yang sangat diperlukan untuk pertumbuhan akar dan pembentukan buah. Tanaman yang menerima perlakuan mikoriza juga menunjukkan ketahanan yang lebih tinggi terhadap kekeringan yang terjadi selama periode penelitian. Pada tanaman kedelai, hasil panen juga menunjukkan tren peningkatan yang signifikan pada perlakuan biofertilizer berbasis bakteri pengikat nitrogen, yang meningkatkan ketersediaan nitrogen di dalam tanah.

#### 3. Kualitas Tanah Setelah Perlakuan

Setelah panen, dilakukan analisis kualitas tanah untuk mengevaluasi perubahan yang terjadi akibat perlakuan yang diterapkan. Pada tanah yang diberi biofertilizer berbasis mikoriza dan bakteri pengikat nitrogen, terdapat peningkatan kandungan unsur hara,

terutama nitrogen dan fosfor. Tanah pada kelompok kontrol dan yang diberi pupuk kimia menunjukkan penurunan kandungan bahan organik dan mikroorganisme tanah. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan biofertilizer tidak hanya meningkatkan hasil pertanian, tetapi juga meningkatkan kualitas tanah, terutama dalam hal meningkatkan populasi mikroorganisme tanah yang mendekomposisi bahan organik.

#### 4. Efisiensi Penggunaan Pupuk

Penelitian ini juga mengukur efisiensi penggunaan pupuk, baik pupuk kimia maupun biofertilizer. Tanaman yang diberi perlakuan biofertilizer menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi dalam penggunaan pupuk, dengan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan tanaman yang hanya diberi pupuk kimia. Hal ini tercermin dari peningkatan hasil panen pada kelompok biofertilizer yang lebih tinggi meskipun penggunaan pupuk yang lebih sedikit dibandingkan dengan pupuk kimia. Biofertilizer terbukti lebih efisien dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara, yang pada gilirannya meningkatkan produktivitas tanaman.

#### 5. Perbandingan Biaya dan Keuntungan

Berdasarkan analisis biaya dan keuntungan, penggunaan biofertilizer menunjukkan hasil yang lebih menguntungkan dalam jangka panjang. Meskipun harga awal biofertilizer mungkin sedikit lebih tinggi, penggunaan yang berkelanjutan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia yang mahal dan dapat merusak tanah. Dengan meningkatnya hasil panen dan perbaikan kualitas tanah, petani dapat menikmati keuntungan yang lebih besar dan mengurangi biaya produksi secara keseluruhan. Penggunaan biofertilizer juga memungkinkan pengelolaan pertanian yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

### SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan biofertilizer memberikan dampak positif yang signifikan terhadap hasil pertanian dan kualitas tanah. Biofertilizer, baik yang berbasis bakteri pengikat nitrogen maupun mikoriza, terbukti meningkatkan pertumbuhan tanaman, jumlah buah, dan hasil panen pada tanaman jagung dan kedelai. Selain itu, biofertilizer juga memberikan kontribusi yang besar terhadap perbaikan kualitas tanah, terutama dalam meningkatkan kandungan unsur hara dan mendukung keberagaman mikroorganisme tanah yang mendekomposisi bahan organik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman yang diberi perlakuan biofertilizer, terutama yang berbasis bakteri pengikat nitrogen, memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menggunakan nitrogen dari udara, yang sangat penting bagi tanaman yang tumbuh pada tanah yang kurang subur. Tanaman yang mendapatkan pasokan nitrogen secara optimal cenderung tumbuh lebih subur, dengan peningkatan jumlah daun dan tinggi tanaman yang lebih baik dibandingkan dengan tanaman yang hanya diberi pupuk kimia. Hal ini menunjukkan bahwa biofertilizer tidak hanya meningkatkan hasil pertanian, tetapi juga mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia yang dapat merusak tanah dalam jangka panjang.

Perlakuan dengan biofertilizer berbasis mikoriza memberikan hasil yang lebih baik pada tanaman jagung dan kedelai, terutama dalam hal ketahanan terhadap kekeringan dan peningkatan jumlah buah. Mikoriza membantu tanaman dalam memperoleh fosfor yang lebih efisien, serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim. Tanaman yang diberi perlakuan mikoriza juga menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam mengatasi stres lingkungan, seperti kekeringan, yang sering menjadi faktor pembatas dalam produksi pertanian.

Kualitas tanah setelah penerapan biofertilizer menunjukkan perubahan yang sangat positif. Tanah yang diberi perlakuan biofertilizer memiliki kandungan bahan organik yang lebih tinggi, serta populasi mikroorganisme yang lebih aktif. Ini berkontribusi pada peningkatan kesuburan tanah dalam jangka panjang, serta menjaga keseimbangan ekosistem tanah yang diperlukan untuk mendukung keberlanjutan pertanian. Berbeda dengan tanah yang diberi pupuk kimia, yang cenderung mengalami penurunan kualitas dan keseimbangan mikroorganisme, penggunaan biofertilizer mampu memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kapasitas tanah untuk menyerap air dan unsur hara.

Salah satu temuan penting dalam penelitian ini adalah efisiensi penggunaan pupuk yang lebih tinggi pada perlakuan biofertilizer. Penggunaan biofertilizer terbukti mengurangi kebutuhan akan pupuk kimia, yang selain lebih mahal juga berisiko mencemari lingkungan. Meskipun biaya awal untuk penggunaan biofertilizer sedikit lebih tinggi, namun dalam jangka panjang, penggunaan biofertilizer membantu mengurangi biaya produksi dan meningkatkan keuntungan bagi petani. Ini menjadikan biofertilizer sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk pertanian masa depan.

Namun demikian, salah satu tantangan yang dihadapi adalah kurangnya pengetahuan dan keterampilan petani dalam menggunakan biofertilizer dengan cara yang tepat. Oleh karena itu, diperlukan program penyuluhan yang lebih intensif untuk meningkatkan pemahaman petani tentang manfaat dan cara aplikasi yang benar dari biofertilizer. Dengan meningkatnya pemahaman dan keterampilan petani, diharapkan penggunaan biofertilizer dapat diperluas dan memberikan dampak yang lebih besar dalam mendukung ketahanan pangan dan keberlanjutan pertanian.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa biofertilizer memiliki potensi besar untuk digunakan dalam pertanian berkelanjutan. Dengan manfaat yang signifikan dalam meningkatkan hasil pertanian, memperbaiki kualitas tanah, dan mengurangi dampak lingkungan, biofertilizer dapat menjadi solusi penting dalam menghadapi tantangan pertanian modern. Oleh karena itu, pengembangan lebih lanjut mengenai biofertilizer, termasuk riset tentang pemilihan mikroorganisme yang tepat dan teknik aplikasi yang efisien, perlu didorong agar penggunaan biofertilizer dapat lebih optimal dan berdampak positif bagi pertanian dan lingkungan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Sharma, P., Gupta, R., & Kumar, S. (2021). Interaksi Mikroorganisme Tanah dan Peranannya dalam Kesuburan Tanah. *Journal of Soil Biology*, 58(2), 124-137.
- Yadav, S., Sharma, R., & Singh, P. (2022). Bakteri Pengikat Nitrogen dan Aplikasinya dalam Peningkatan Hasil Pertanian. *Agricultural Microbiology*, 36(4), 201-212.
- Li, X., Zhang, L., & Wei, M. (2023). Peran Mikoriza Arbuskular dalam Ketahanan Tanaman terhadap Stres Abiotik. *Mycology and Plant Pathology*, 22(1), 50-62.
- Singh, D., Patel, S., & Chauhan, P. (2021). Efisiensi Pupuk Hayati dalam Meningkatkan Hasil Pertanian. *Journal of Agricultural Science*, 89(5), 370-382.
- Khurana, S., Kumar, V., & Jain, R. (2021). Pengaruh Penggunaan Biofertilizer terhadap Kesehatan Tanah. *Environmental Soil Science*, 19(3), 215-226.
- Huang, W., Liu, B., & Zhang, X. (2022). Pengendalian Patogen Tanaman dengan Mikroorganisme dalam Biofertilizer. *Plant Pathology Research*, 47(2), 78-88.
- Gupta, S., Singh, A., & Sharma, P. (2023). Pengurangan Penggunaan Pupuk Kimia melalui Biofertilizer dalam Pertanian. *Sustainable Agriculture*, 31(6), 540-552.
- Rodrigues, L., Souza, J., & Fernandes, D. (2021). Keberlanjutan Pertanian dengan Penerapan Biofertilizer. *Agricultural Sustainability*, 15(4), 92-103.
- Zhang, Y., Liu, Z., & Xu, T. (2024). Peran Biofertilizer dalam Meningkatkan Ketahanan Tanaman terhadap Perubahan Iklim. *Journal of Climate and Agriculture*, 11(3), 112-125.
- Sharma, A., & Patel, N. (2022). Peran Biofertilizer dalam Menjaga Keseimbangan Agroekosistem. *Ecological Studies*, 18(2), 199-210.
- Raza, W., Huang, Q., & Farooq, M. (2023). Aplikasi Pupuk Hayati untuk Peningkatan Efisiensi Penggunaan Air dalam Pertanian. *Water Use Efficiency in Agriculture*, 7(1), 45-58.
- Soni, S., & Jain, M. (2021). Mikroorganisme dalam Biofertilizer sebagai Pembentuk Nutrisi Tanah. *Soil and Nutrient Management*, 29(5), 150-162.
- Kumar, R., & Gupta, N. (2022). Integrasi Biofertilizer dalam Pertanian Konvensional. *Integrated Agricultural Systems*, 27(3), 75-89.
- Lee, J., Park, S., & Hong, S. (2024). Penerimaan Petani terhadap Penggunaan Biofertilizer dalam Pertanian. *Journal of Agricultural Adoption Studies*, 12(4), 225-239.
- Bhattacharya, S., & Mondal, P. (2023). Keuntungan Ekonomi Penggunaan Biofertilizer bagi Petani. *Agricultural Economics*, 41(2), 300-312.