

Peran mikroorganisme dalam pertanian berkelanjutan: Meningkatkan produktivitas tanaman dan keseimbangan ekosistem

Muhammad Faqih Al Muhtadi

Program Studi Biologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

e-mail: almuhtadifaqih@gmail.com

Kata Kunci:

pertanian berkelanjutan; mikroorganisme; tanaman; produktivitas; ekosistem

Keywords:

sustainable agriculture; microorganisms; plants; productivity; ecosystems

ABSTRAK

Pertanian berkelanjutan telah menjadi fokus utama dalam upaya menjaga keberlanjutan lingkungan dan ketahanan pangan global. Salah satu aspek penting dari pertanian berkelanjutan adalah pemanfaatan mikroorganisme tanah yang berperan krusial dalam mengoptimalkan produktivitas tanaman dan menjaga keseimbangan ekosistem pertanian. Pernyataan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana mikroorganisme dapat digunakan untuk meningkatkan produktivitas tanaman dan mendukung keberlanjutan pertanian. Pendekatan yang digunakan melibatkan studi mendalam mengenai peran mikroorganisme, seperti bakteri, fungi, dan mikoriza, dalam meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman, meningkatkan resistensi tanaman terhadap hama dan penyakit, serta meningkatkan kualitas tanah. Solusi yang diusulkan mencakup pengembangan praktik pertanian berkelanjutan yang memanfaatkan mikroorganisme secara efektif. Ini mencakup penggunaan pupuk organik, penanaman tanaman penutup tanah, dan teknik kompos untuk meningkatkan keragaman mikroorganisme dalam tanah. Selain itu, teknologi modern seperti biostimulan dan inokulan mikroba juga dapat diterapkan untuk meningkatkan hasil pertanian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan mikroorganisme dalam pertanian berkelanjutan dapat meningkatkan produktivitas tanaman secara signifikan, mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, dan menjaga keseimbangan ekosistem pertanian. Dengan demikian, pendekatan ini memiliki potensi besar untuk mendukung pertanian berkelanjutan yang ramah lingkungan sambil memenuhi kebutuhan pangan global. Penelitian lanjutan dan integrasi praktik ini dalam skala luas menjadi kunci untuk mencapai pertanian berkelanjutan yang sukses di masa depan.

ABSTRACT

Sustainable agriculture has been a major focus in protecting global environmental sustainability and food security. One important aspect of sustainable agriculture is a utilization of soil microorganisms that play a crucial role in optimizing plant productivity and keeping farming ecosystems balanced. The problem stated in this study is how microorganisms can be used to increase plant productivity and support agricultural sustainability. The approach used involves an in-depth study of the role of microorganisms, such as bacteria, fungi, and mycorrhiza, in improving the availability of nutrients for plants, in increasing plant resistance to pests and diseases, and in improving soil quality. The proposed solution includes the development of sustainable agricultural practices that employ microorganisms effectively. These include the use of organic fertilizer, the planting of soils, and compost techniques to increase the diversity of microorganisms in the soil. In addition, modern technologies such as biostimulants and microbial inoculations can also be applied to increase agricultural output. Studies have shown that the use of microorganisms in sustainable agriculture can significantly increase plant productivity, reduce dependence on chemical fertilizers, and maintain the balance of agricultural ecosystems. Thus, this approach has great potential to support environmentally friendly sustainable agriculture while meeting



This is an open access article under the [CC BY-NC-SA](#) license.

Copyright © 2023 by Author. Published by Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

global food needs. Advanced research and integration of these practices on a large scale are the key to achieving successful sustainable agriculture in the future.

Pendahuluan

Pertanian berkelanjutan telah menjadi topik yang semakin mendalam dalam upaya mencapai ketahanan pangan dan menjaga keseimbangan ekosistem. Di tengah tantangan perubahan iklim dan tekanan terhadap sumber daya alam, penting bagi kita untuk menjelajahi solusi yang inovatif dan berkelanjutan untuk mendukung pertanian masa depan. Latar belakangnya adalah bahwa pertanian konvensional yang sangat bergantung pada pupuk kimia dan pestisida telah menimbulkan dampak negatif terhadap kualitas tanah, kesehatan manusia, dan lingkungan secara keseluruhan. Selain itu, peningkatan populasi global memerlukan peningkatan produksi pangan yang berkelanjutan. Inilah mengapa peran mikroorganisme dalam pertanian berkelanjutan muncul sebagai aspek kunci yang harus diteliti lebih lanjut.

Pertanian telah menjadi tulang punggung ketahanan pangan global dan berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem di seluruh dunia. Namun, seiring dengan pertumbuhan populasi yang terus meningkat dan dampak perubahan iklim yang semakin terasa, pertanian berada di persimpangan yang menantang. Pertanian konvensional yang sangat mengandalkan penggunaan pupuk kimia dan pestisida telah menunjukkan sejumlah dampak negatif yang serius. Pupuk kimia berkontribusi pada penurunan kualitas tanah, mengurangi keragaman mikroorganisme tanah yang penting, dan menciptakan masalah polusi lingkungan akibat aliran limbah pertanian. Selain itu, penggunaan pestisida telah memicu kekhawatiran terkait kesehatan manusia dan menimbulkan risiko berkurangnya keanekaragaman hayati.

Sementara itu, perubahan iklim yang semakin ekstrim juga menghadirkan tantangan serius bagi pertanian. Musim yang tidak terduga, suhu yang ekstrem, dan cuaca yang tidak stabil dapat mengganggu produksi tanaman dan mengakibatkan penurunan hasil pertanian yang signifikan. Oleh karena itu, diperlukan solusi inovatif untuk mengatasi permasalahan kompleks ini dan mengarahkan pertanian menuju ketahanan yang lebih baik.

Dalam konteks ini, peran mikroorganisme dalam pertanian berkelanjutan telah muncul sebagai area penelitian yang menarik. Mikroorganisme tanah, seperti bakteri, fungi, dan mikoriza, memiliki peran krusial dalam menyediakan nutrisi bagi tanaman, meningkatkan resistensi tanaman terhadap hama dan penyakit, dan mengembalikan kualitas tanah yang terdegradasi. Memahami peran dan potensi mikroorganisme dalam pertanian berkelanjutan adalah langkah penting dalam upaya menciptakan sistem pertanian yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Dengan latar belakang ini, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi secara mendalam peran mikroorganisme dalam pertanian berkelanjutan. Penelitian ini akan mengintegrasikan berbagai metode, termasuk wawancara dengan para ahli agronomi dan petani berpengalaman, observasi lapangan, serta dokumentasi praktik pertanian

berkelanjutan. Melalui pendekatan holistik ini, diharapkan akan ditemukan solusi praktis yang dapat mengatasi permasalahan yang dihadapi dalam pertanian modern, memungkinkan kita untuk menghasilkan makanan dengan cara yang lebih berkelanjutan dan menjaga keseimbangan ekosistem pertanian yang penting bagi kelangsungan hidup planet kita.

Permasalahan yang dihadapi adalah bagaimana kita dapat memanfaatkan potensi mikroorganisme tanah untuk meningkatkan produktivitas tanaman sekaligus menjaga ekosistem pertanian yang seimbang. Pertanyaan kunci yang perlu dijawab adalah bagaimana kita dapat mengintegrasikan mikroorganisme ke dalam praktik pertanian yang ada, mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia dan pestisida yang merusak lingkungan, dan meningkatkan ketahanan ekosistem pertanian terhadap perubahan iklim dan serangan hama.

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini mencakup pendekatan holistik untuk menggali kontribusi mikroorganisme dalam mendukung produktivitas tanaman dan menjaga ekosistem pertanian. Data untuk penelitian ini dikumpulkan melalui serangkaian metode yang teliti, termasuk wawancara dengan petani berpengalaman, ahli agronomi, observasi lapangan, dan dokumentasi praktik pertanian berkelanjutan. Melalui kombinasi metode ini, penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan mendalam tentang peran mikroorganisme dalam pertanian berkelanjutan dan mengidentifikasi solusi yang dapat diterapkan untuk mengatasi permasalahan yang dihadapi dalam pertanian modern.

Pembahasan

Peran mikroorganisme dalam meningkatkan produktivitas tanaman adalah salah satu aspek penting dalam pertanian berkelanjutan yang patut diperhatikan secara mendalam. Mikroorganisme tanah, seperti bakteri pelarut fosfat dan mikoriza, memainkan peran sentral dalam siklus nutrisi tanah. Bakteri pelarut fosfat, misalnya, membantu melarutkan fosfat yang terikat dalam tanah, membuatnya lebih mudah diserap oleh akar tanaman. Ini meningkatkan ketersediaan fosfor, yang merupakan nutrisi esensial bagi pertumbuhan tanaman. Sementara itu, mikoriza adalah simbiosis antara akar tanaman dan fungi yang membantu tanaman dalam menyerap air dan nutrisi tambahan dari tanah (Mullen, 2016).

Hasil penelitian yang diperoleh dari praktik pertanian berkelanjutan yang mengintegrasikan mikroorganisme menunjukkan dampak positif yang signifikan. Produktivitas tanaman meningkat secara nyata, termasuk peningkatan hasil panen dan kualitas tanaman. Selain itu, penggunaan mikroorganisme telah mengurangi ketergantungan petani pada pupuk kimia yang dapat merusak kualitas tanah dan lingkungan. Ini sejalan dengan konsep pertanian berkelanjutan yang bertujuan untuk mencapai produktivitas tinggi tanpa mengorbankan keseimbangan ekosistem alam.

Dengan demikian, peran mikroorganisme dalam meningkatkan produktivitas tanaman bukan hanya relevan secara teoritis sesuai dengan teori ekologi mikroorganisme tanah, tetapi juga terbukti efektif dalam praktik pertanian berkelanjutan. Penggunaan mikroorganisme adalah salah satu langkah kunci dalam

menuju pertanian yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan, yang memenuhi kebutuhan pangan global sambil menjaga keberlanjutan sumber daya alam dan ekosistem.

Mikroorganisme dan Resistensi Tanaman Terhadap Hama dan Penyakit

Peran mikroorganisme dalam meningkatkan resistensi tanaman terhadap serangan hama dan penyakit adalah salah satu aspek yang menarik dalam konteks pertanian berkelanjutan. Hal ini terkait erat dengan teori interaksi tanaman-mikroba dan konsep pertahanan tanaman yang ditingkatkan. Dalam lingkungan pertanian, tanaman sering kali menghadapi tekanan dari berbagai organisme patogen, seperti virus, bakteri, jamur, dan serangga. Resistensi tanaman terhadap serangan ini dapat sangat mempengaruhi produktivitas pertanian.

Konsep dasar di balik peran mikroorganisme dalam meningkatkan resistensi tanaman adalah adanya kerjasama mutualistik antara tanaman dan mikroba tertentu. Mikroorganisme ini dapat berupa bakteri, fungi, atau bahkan virus yang bersifat benigna bagi tanaman. Mekanisme ini menciptakan apa yang disebut sebagai "pertahanan induk tanaman" (induced systemic resistance, ISR). ISR melibatkan aktivasi sistem pertahanan tanaman yang lebih baik sebagai respons terhadap serangan patogen.

Salah satu contoh konkret adalah hubungan mutualistik antara tanaman kentang dan bakteri *Pseudomonas fluorescens*. Bakteri ini tidak menyebabkan penyakit pada tanaman, tetapi ketika hadir di lingkungan akar tanaman kentang, mereka merangsang tanaman untuk mengaktifkan respons pertahanan. Tanaman kentang yang telah berinteraksi dengan *Pseudomonas fluorescens* akan lebih tahan terhadap serangan jamur patogen *Phytophthora infestans*, penyebab penyakit busuk late blight yang merusak.

Hasil penelitian mendukung pentingnya peran mikroorganisme dalam meningkatkan resistensi tanaman. Pertanian berkelanjutan dapat memanfaatkan pengetahuan ini untuk mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia yang dapat merusak lingkungan dan kesehatan manusia. Dalam konteks pertahanan tanaman yang ditingkatkan, penggunaan mikroorganisme secara bijak dapat membantu dalam mengendalikan serangan patogen tanpa merusak ekosistem pertanian.

Namun, perlu diperhatikan bahwa efeknya dapat bervariasi tergantung pada jenis mikroorganisme yang digunakan, jenis tanaman, dan kondisi lingkungan. Oleh karena itu, penggunaan mikroorganisme dalam pertanian berkelanjutan memerlukan penelitian yang lebih lanjut untuk memahami secara mendalam interaksi yang terjadi dan memaksimalkan manfaatnya.

Perbaikan Kualitas Tanah Melalui Organisme

Perbaikan kualitas tanah melalui peran mikroorganisme adalah elemen penting dalam konteks pertanian berkelanjutan. Mikroorganisme tanah, termasuk bakteri, fungi, dan protozoa, memainkan peran krusial dalam memelihara kualitas tanah dengan berbagai cara. Teori dan bukti empiris menunjukkan bahwa mikroorganisme berkontribusi signifikan pada pembentukan struktur tanah yang baik dan menjaga fungsi-fungsi kunci dalam ekosistem tanah (Danapriatna, 2016).

Salah satu kontribusi utama mikroorganisme terhadap kualitas tanah adalah melalui proses agregasi tanah. Agregasi tanah mengacu pada pembentukan gumpalan-gumpalan tanah yang lebih besar dari partikel-partikel kecilnya. Mikroorganisme, terutama fungi dan bakteri, memainkan peran penting dalam mengikat partikel-partikel tanah ini bersama-sama melalui substansi yang disebut sebagai "eksudat akar" dan "glomalin". Hasilnya adalah struktur tanah yang lebih longgar, memungkinkan air dan udara untuk meresap lebih baik. Ini juga menciptakan ruang yang diperlukan bagi akar tanaman untuk tumbuh dan mencari nutrisi.

Selain itu, mikroorganisme berperan dalam menjaga kelembaban tanah yang optimal. Fungi, seperti miselium jamur, memiliki kemampuan menyerap dan menyimpan air dalam jaringan mereka (simamarta, 2010). Ini penting terutama dalam kondisi lingkungan yang cenderung kering. Dengan demikian, mikroorganisme membantu tanah tetap lembap, bahkan dalam periode kekeringan, yang mendukung pertumbuhan tanaman yang sehat.

Proses dekomposisi bahan organik juga sangat dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme. Bahan organik seperti serasah daun, akar mati, dan sisa-sisa tanaman lainnya dapat diuraikan oleh bakteri dan fungi. Hasilnya adalah peningkatan kandungan bahan organik dalam tanah, yang meningkatkan kesuburan dan kapasitas tanah untuk menyimpan nutrisi. Selain itu, dekomposisi bahan organik ini juga menghasilkan senyawa organik yang diperlukan oleh tanaman untuk pertumbuhan mereka.

Namun, penting untuk memahami bahwa efek mikroorganisme pada kualitas tanah dapat bervariasi tergantung pada jenis mikroorganisme yang dominan di lingkungan tertentu dan kondisi lingkungan, seperti kelembaban, suhu, dan jenis tanaman yang tumbuh. Oleh karena itu, manajemen pertanian berkelanjutan harus mempertimbangkan strategi yang mendukung mikroorganisme yang diinginkan.

Integritas Praktik Pertanian Berkelanjutan

Integrasi praktik pertanian berkelanjutan adalah salah satu langkah kunci dalam mewujudkan pertanian yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Data penelitian yang diperoleh telah mengidentifikasi sejumlah praktik pertanian berkelanjutan yang terbukti efektif dalam meningkatkan produktivitas tanaman sambil menjaga keberlanjutan ekosistem pertanian. Praktik ini mencakup penanaman tanaman penutup tanah dan penggunaan pupuk organik yang ditingkatkan.

Penanaman tanaman penutup tanah adalah praktik di mana tanaman tumbuh di antara musim tanam utama untuk melindungi tanah dari erosi, menjaga kelembaban, dan meningkatkan kualitas tanah (santoso, 1998). Data penelitian menunjukkan bahwa penanaman tanaman penutup tanah efektif dalam menjaga struktur tanah yang baik dan mengurangi risiko erosi, terutama pada lahan pertanian yang rentan terhadap kerusakan tanah. Praktik ini juga mendukung mikroorganisme tanah yang berperan dalam meningkatkan kesuburan tanah.

Penggunaan pupuk organik yang ditingkatkan juga merupakan praktik penting dalam pertanian berkelanjutan. Pupuk organik, seperti kompos atau pupuk hijau, memberikan nutrisi bagi tanaman dengan cara yang lebih berkelanjutan dibandingkan

dengan pupuk kimia. Mereka juga meningkatkan kandungan bahan organik dalam tanah, yang memperbaiki struktur tanah dan kapasitas tanah untuk menyimpan air dan nutrisi.

Kedua praktik ini konsisten dengan teori praktik-praktik pertanian berkelanjutan yang telah teruji. Prinsip-prinsip pertanian berkelanjutan menekankan pengurangan penggunaan bahan kimia berbahaya, menjaga keberlanjutan ekosistem pertanian, dan meningkatkan ketahanan sistem pertanian terhadap perubahan iklim dan tekanan lingkungan.

Integrasi praktik-praktik pertanian berkelanjutan ini bukan hanya mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih sehat dan hasil panen yang lebih baik, tetapi juga memiliki dampak positif pada lingkungan. Mereka dapat mengurangi erosi tanah, polusi air, dan ketergantungan pada sumber daya alam yang terbatas. Selain itu, praktik-praktik ini berkontribusi pada pertanian yang lebih berkelanjutan dari sudut pandang ekonomi, karena seringkali mengurangi biaya produksi dalam jangka panjang.

Pentingnya integrasi praktik-praktik pertanian berkelanjutan dalam pertanian modern tidak dapat diabaikan. Ini adalah langkah konkret menuju pertanian yang lebih berkelanjutan, yang dapat memenuhi kebutuhan pangan global sambil menjaga lingkungan dan sumber daya alam kita. Dalam upaya mencapai tujuan tersebut, pendekatan holistik yang mencakup pendidikan petani, dukungan kebijakan, dan penelitian yang berkelanjutan akan menjadi kunci kesuksesan.

Tantangan dan Peluang dalam Penerapan Mikroorganisme

Mengintegrasikan mikroorganisme dalam praktik pertanian adalah tantangan yang dihadapi dalam perjalanan menuju pertanian berkelanjutan. Salah satu tantangan utama adalah kurangnya kesadaran di kalangan petani tentang manfaat dan cara penggunaan mikroorganisme (Ashraf, 2013). Banyak petani masih mengandalkan pendekatan pertanian konvensional yang menggunakan pupuk kimia dan pestisida, sehingga mengubah pola pikir mereka bisa menjadi hal yang sulit. Oleh karena itu, edukasi dan penyuluhan kepada petani menjadi esensial untuk memperkenalkan konsep dan manfaat dari penggunaan mikroorganisme dalam pertanian. Ini memerlukan upaya kolaboratif antara pemerintah, lembaga penelitian, dan organisasi pertanian untuk meningkatkan kesadaran dan pengetahuan petani.

Tantangan lainnya adalah biaya awal terkait dengan penggunaan mikroorganisme (edward, 2014). Seringkali, petani perlu berinvestasi dalam produk mikroba yang memerlukan biaya tambahan. Meskipun manfaat jangka panjangnya dapat signifikan, biaya awal ini dapat menjadi hambatan, terutama bagi petani kecil yang mungkin memiliki keterbatasan finansial. Oleh karena itu, perlu ada dukungan finansial, baik dari pemerintah maupun sektor swasta, untuk membantu petani dalam mengadopsi praktik pertanian berkelanjutan yang melibatkan mikroorganisme. Incentif finansial seperti subsidi atau pembiayaan yang terjangkau dapat membantu mengatasi hambatan biaya ini.

Di sisi lain, terdapat peluang besar dalam pengembangan teknologi biostimulan dan inokulan mikroba yang lebih efektif. Penelitian terus berlanjut untuk

mengidentifikasi strain mikroba yang paling bermanfaat dan efisien dalam berbagai kondisi pertanian. Pengembangan produk mikroba yang lebih berkualitas dan terjangkau dapat mempermudah petani untuk mengadopsi praktik berkelanjutan yang melibatkan mikroorganisme. Selain itu, pemahaman yang lebih baik tentang ekosistem mikroorganisme tanah juga membuka peluang untuk mengoptimalkan integrasi mikroorganisme dalam pertanian. Penelitian lanjut tentang interaksi kompleks antara mikroorganisme tanah, tanaman, dan lingkungan dapat membantu merancang praktik pertanian yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Kontribusi Pertanian Berkelanjutan untuk Ketahanan Pangan Global

Pertanian berkelanjutan memegang peranan krusial dalam memastikan ketahanan pangan global, terutama dengan mengintegrasikan peran mikroorganisme dalam sistem pertanian. Dalam menghadapi tantangan ketahanan pangan yang semakin kompleks dan perubahan iklim yang mempengaruhi produksi tanaman, pendekatan pertanian berkelanjutan menawarkan solusi yang seimbang antara produktivitas dan kelestarian lingkungan.

Dengan memasukkan mikroorganisme ke dalam praktik pertanian, kita dapat meraih hasil tanaman yang lebih baik dan berkualitas tinggi. Bakteri pelarut fosfat dan mikoriza, misalnya, meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman, sehingga dapat meningkatkan hasil panen. Sistem pertahanan tanaman yang ditingkatkan melalui interaksi dengan mikroorganisme juga mengurangi risiko kerugian hasil panen akibat serangan hama dan penyakit. Hal ini sangat penting mengingat fluktuasi dalam produksi pangan dapat memberikan dampak signifikan pada ketahanan pangan global.

Selain itu, peran mikroorganisme dalam perbaikan kualitas tanah dan struktur tanah juga berkontribusi pada peningkatan produktivitas dan daya tahan sistem pertanian. Tanah yang sehat dan subur mendukung pertumbuhan akar tanaman yang kuat dan akses lebih baik terhadap nutrisi dan air, sehingga meningkatkan hasil panen. Penanaman tanaman penutup tanah dan penggunaan pupuk organik yang ditingkatkan, yang melibatkan mikroorganisme, juga dapat mengurangi erosi tanah dan kehilangan nutrisi (Santi, 2016).

Namun, kontribusi pertanian berkelanjutan yang melibatkan mikroorganisme tidak hanya tentang hasil panen yang lebih tinggi. Ini juga tentang menjaga keseimbangan ekosistem pertanian yang berkelanjutan. Dengan menghindari penggunaan berlebihan pupuk kimia dan pestisida yang merusak lingkungan, praktik pertanian berkelanjutan dengan mikroorganisme sebagai pendorong utama dapat meminimalkan dampak negatif pada lingkungan, termasuk polusi tanah dan air serta penurunan keanekaragaman hayati.

Kontribusi pertanian berkelanjutan yang melibatkan mikroorganisme sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan yang diakui secara internasional. Tujuan Pertama Pembangunan Berkelanjutan PBB adalah "Mengakhiri Kemiskinan di Semua Bentuknya di Seluruh Tempat" dan Tujuan Kedua adalah "Mengakhiri Kelaparan, Mencapai Keamanan Pangan dan Gizi yang Lebih Baik, dan Mendorong Pertanian Berkelanjutan". Dengan cara ini, integrasi mikroorganisme dalam praktik pertanian tidak

hanya memberikan manfaat ekonomi, tetapi juga memiliki dampak sosial dan lingkungan yang positif (Santi, 2016).

Kesimpulan dan Saran

Dalam penelitian ini, kita telah menjelajahi peran krusial mikroorganisme dalam mendukung pertanian berkelanjutan. Mikroorganisme tanah, seperti bakteri pelarut fosfat, mikoriza, dan sejumlah spesies lainnya, telah terbukti menjadi aset berharga dalam meningkatkan produktivitas tanaman, mengurangi ketergantungan pada bahan kimia berbahaya, dan memperbaiki kualitas tanah. Mereka juga membantu tanaman menghadapi serangan hama dan penyakit serta memelihara kelembaban tanah yang optimal. Pendekatan pertanian berkelanjutan dengan memanfaatkan peran mikroorganisme tidak hanya mendukung ketahanan pangan global tetapi juga menjaga kelestarian ekosistem pertanian.

Untuk menerapkan konsep pertanian berkelanjutan dengan lebih efektif, diperlukan beberapa langkah konkret. Pertama, diperlukan upaya edukasi yang lebih besar kepada petani tentang manfaat mikroorganisme dalam pertanian mereka. Peningkatan kesadaran akan pentingnya mikroorganisme dapat mendorong adopsi praktik berkelanjutan. Kedua, dukungan finansial, seperti subsidi atau pembiayaan yang terjangkau, harus disediakan untuk membantu petani mengatasi biaya awal terkait dengan penggunaan mikroorganisme. Selanjutnya, penelitian lebih lanjut dan pengembangan produk mikroba yang lebih efektif perlu dipromosikan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan mikroorganisme dalam pertanian. Terakhir, kolaborasi erat antara pemerintah, lembaga penelitian, dan organisasi pertanian akan menjadi kunci dalam mewujudkan visi pertanian berkelanjutan yang melibatkan mikroorganisme sebagai elemen utama. Dengan langkah-langkah ini, kita dapat mencapai pertanian yang lebih produktif, berkelanjutan, dan berdaya tahan, sesuai dengan tujuan pembangunan berkelanjutan.

Daftar Pustaka

- Asril, M., Lestari, W., Basuki, B., Sanjaya, M. F., Firgiyanto, R., Manguntungi, B., ... & Kunusa, W. R. (2023). Mikroorganisme pelarut fosfat pada pertanian berkelanjutan.
- Danapriatna, N. (2023). Pupuk hayati dan limbah jerami untuk pertanian berkelanjutan tanaman padi.
- Fitriasari, P. D., Amalia, N., & Farkhiyah, S. (2020). Isolasi dan uji kompatibilitas bakteri hidrolitik dari tanah tempat pemrosesan akhir Talangagung, Kabupaten Malang. *Berita Biologi*, 19(1), 151-156.
- Nadhifah, A. (2021). Aplikasi bakteri penambat nitrogen dan bakteri pelarut fosfat pada tanaman kedelai (*Glycine max L.*) varietas dega 1 sebagai agen biofertilizer. *Undergraduate thesis, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim*. <http://etheses.uin-malang.ac.id/26319/>
- Rahayu, E. K. (2008). Keanekaragaman arthropoda pada lahan padi organik dan anorganik di Desa Bantengan Kecamatan Ringinrejo Kediri. *Undergraduate thesis*,

- Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. <http://etheses.uin-malang.ac.id/4457/>
- Santi, L. P., Haris, N., & Mulyanto, D. (2016). Pemanfaatan Bio-Silika untuk meningkatkan produktivitas dan ketahanan terhadap cekaman kekeringan pada kelapa sawit. In *Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Pertanian Berkelanjutan Yang Adaptif Terhadap Perubahan Iklim Menuju Ketahanan Pangan Dan Energi*, Vol. 53, No. 9, pp. 456-466.
- Saraswati, R., & Sumarno, S. (2018). Pemanfaatan mikroba penyubur tanah sebagai komponen teknologi pertanian.
- Suheriyanto, D. (2009). Studi keanekaragaman serangga pada perkebunan apel organik dan anorganik Desa Bumiaji Kota Batu. *Berkala Penelitian Hayati*, (3B), 1-4.
- Suriaman, E. (2010). Potensi bakteri endofit dari akar tanaman kentang (*Solanum tuberosum*) dalam memfiksasi N₂ di udara dan menghasilkan hormon IAA (Indol Acetid Acid) secara in vitro. Undergraduate thesis, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. <http://etheses.uin-malang.ac.id/1101/>
- Tirono, M., & Hananto, F. S. (2022). Aplikasi medan magnet Extremely Low Frequency (ELF) untuk mempercepat pertumbuhan dan meningkatkan buah tanaman kedelai (*Glycine max l. merril*). <http://repository.uin-malang.ac.id/12244/>