



Pemanfaatan Zat Pengatur Tumbuh (ZPT) Alami Berbasis Fermentasi Mikroba untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Kualitas Bibit Tanaman dalam Polibag pada Kelompok Tani Desa Reuleut Timu

Almuna Ramadhani¹, Mira Humaira^{2*}, Zurrahmi Wirda³, Dian Arlianty⁴, Nanda Fadila⁵, Novita Pramahsari Putri⁶

¹Agroekoteknologi, Universitas Malikussaleh, Indonesia, email: almunaramadhani@unimal.ac.id

²Agroekoteknologi, Universitas Malikussaleh, Indonesia, email: mirahumaira@unimal.ac.id

³Agroekoteknologi, Universitas Malikussaleh, Indonesia, email: zurrahmi.wirda@unimal.ac.id

⁴Agroekoteknologi, Universitas Malikussaleh, Indonesia, email: dianarlianty@unimal.ac.id

⁵Agroteknologi, Universitas Syiah Kuala, Indonesia, email: nanda.fadila@usk.ac.id

⁶Agroekoteknologi, Universitas Malikussaleh, Indonesia, email: novita@unimal.ac.id

*Koresponden penulis : mirahumaira@unimal.ac.id

Info Artikel

Diajukan: 30 Mei 2026
Diterima: 18 Juni 2026
Diterbitkan: 02 Juli 2026

Keywords:

natural plant growth regulator; microbial fermentation; polybag seedling; participatory approach; farmer empowerment.

Abstract

This Community Service Program (PkM) aims to enhance farmers' knowledge and skills in utilizing natural Plant Growth Regulators (PGR) based on microbial fermentation for seedling production in polybags. The partners involved were farmer groups in Reuleut Timu Village, who still face limitations in applying organic-based seedling technologies. The implementation method used a participatory approach consisting of socialization, field demonstration (demonstration plot), and hands-on practice in producing and applying natural PGR. Evaluation was conducted through observation, discussions, and pre-test and post-test assessments to measure knowledge improvement. The results show an increase in farmers' understanding of natural PGR and microbial fermentation, improved skills in producing and applying PGR independently, and better seedling growth quality indicated by increased vigor, plant height, and leaf number. The program also promotes the optimization of local resources and strengthens farmer-group-based seedling systems. Therefore, the participatory approach is effective in

Kata Kunci:

ZPT alami; fermentasi mikroba; pembibitan polibag; penyuluhan partisipatif; pemberdayaan petani.



Lisensi: *cc-by-sa*
Copyright © 2026
penulis

supporting the adoption of sustainable agricultural technologies at the village level.

Abstrak

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) ini bertujuan untuk meningkatkan pengetahuan dan keterampilan petani dalam pemanfaatan Zat Pengatur Tumbuh (ZPT) alami berbasis fermentasi mikroba untuk pembibitan tanaman dalam polibag. Mitra kegiatan adalah Kelompok Tani Desa Reuleut Timu yang masih memiliki keterbatasan dalam penerapan teknologi pembibitan berbasis bahan organik lokal. Metode pelaksanaan menggunakan pendekatan partisipatif yang meliputi sosialisasi, demonstrasi lapangan (demonstration plot), serta praktik langsung pembuatan dan aplikasi ZPT alami. Evaluasi dilakukan melalui observasi, diskusi, serta pre-test dan post-test untuk mengukur peningkatan pemahaman mitra. Hasil kegiatan menunjukkan adanya peningkatan pemahaman petani terhadap konsep ZPT alami dan fermentasi mikroba, peningkatan keterampilan dalam pembuatan serta aplikasi ZPT secara mandiri, serta perbaikan kualitas pertumbuhan bibit yang ditandai dengan peningkatan vigor, tinggi tanaman, dan jumlah daun. Kegiatan ini juga mendorong optimalisasi pemanfaatan sumber daya lokal serta penguatan sistem pembibitan berbasis kelompok tani. Dengan demikian, pendekatan partisipatif efektif dalam mendukung adopsi teknologi pertanian berkelanjutan di tingkat desa.

Cara mensitasi artikel:

Ramadhani, A., Humaira, M., Wirda, Z., Arlianty, D., Fadila, N., & Putri, N. P. (2026). Pemanfaatan Zat Pengatur Tumbuh (ZPT) Alami Berbasis Fermentasi Mikroba untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Kualitas Bibit Tanaman dalam Polibag pada Kelompok Tani Desa Reuleut Timu. *Beujroh : Jurnal Pemberdayaan Dan Pengabdian Pada Masyarakat*, 4(2), 430–454. <https://doi.org/10.61579/beujroh.v4i2.911>

PENDAHULUAN

Sektor pertanian merupakan sektor strategis yang menopang ketahanan pangan nasional, penyediaan lapangan kerja, dan ekonomi pedesaan (Ngadi et al., 2023; Syamola & Nurwahyuni, 2019; Harianto & Wardhani, 2020). Di Indonesia, mayoritas masyarakat pedesaan masih

bergantung pada usaha tani (pangan, hortikultura, perkebunan, dan peternakan), sehingga peningkatan produktivitas dan efisiensi menjadi krusial dalam menghadapi perubahan iklim, degradasi lahan, serta keterbatasan akses terhadap teknologi pertanian modern (Chimwamurombe & Mataranyika, 2021; Hrustek, 2020; Zelisko et al., 2024; Chen, 2025). Salah satu faktor kunci keberhasilan budidaya adalah ketersediaan bibit berkualitas yang menentukan optimalitas pertumbuhan sejak fase awal.

Bibit merupakan faktor produksi kunci dalam keberhasilan budidaya tanaman. Bibit berkualitas dicirikan oleh vigor yang tinggi, yang mencakup kemampuan tumbuh cepat dan seragam, serta performa pertumbuhan yang optimal, termasuk perkembangan akar dan biomassa tanaman pada fase awal pertumbuhan (Pereira, 2020; Ebone et al., 2020; Caverzan et al., 2018). Sebaliknya, bibit berkualitas rendah cenderung menyebabkan pertumbuhan tidak seragam, lebih rentan terhadap hama dan penyakit, serta menurunkan produktivitas. Sejumlah studi juga menegaskan bahwa kualitas benih dan bibit berpengaruh signifikan terhadap perkecambahan, vigor awal, serta performa tanaman pada fase lanjut yang berdampak langsung pada hasil panen (Cardarelli et al., 2022; Yang et al., 2025; Cummane et al., 2025). Dengan demikian, peningkatan kualitas bibit menjadi strategi fundamental dalam mendukung produktivitas pertanian berkelanjutan.

Pada fase pembibitan, aplikasi zat pengatur tumbuh (ZPT) dapat meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman melalui pengaturan berbagai proses fisiologis, termasuk pembentukan tunas, pemanjangan batang, dan perkembangan bibit yang lebih optimal (Carra et al., 2023; Litwińczuk & Jacek, 2023; Bañón et al., 2023). Zat pengatur tumbuh merupakan senyawa organik yang dalam konsentrasi tertentu mampu memengaruhi berbagai proses fisiologis tanaman, seperti pembelahan sel, pemanjangan sel, pembentukan akar, pembungaan, dan pembentukan buah. Hormon-hormon utama yang termasuk dalam kelompok ZPT terdiri atas auksin, sitokinin, giberelin, etilen, dan asam absisat yang dikenal sebagai phytohormones klasik yang berperan dalam pengaturan pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Gancheva et al., 2019). Hormon-hormon tersebut tidak bekerja secara independen, melainkan saling berinteraksi dalam mekanisme regulasi

yang kompleks dalam mengontrol proses fisiologis tanaman (Mazzoni-Putman et al., 2021). Keberadaan ZPT dalam jumlah yang sesuai dapat membantu mempercepat pertumbuhan bibit dan meningkatkan kualitas tanaman pada fase vegetatif awal.

Selama ini, banyak petani masih mengandalkan ZPT sintetis komersial untuk merangsang pertumbuhan tanaman. Meskipun efektif dalam mempercepat respons fisiologis tanaman, penggunaannya memiliki keterbatasan berupa biaya yang relatif tinggi, terutama bagi petani skala kecil, serta meningkatkan ketergantungan pada input eksternal yang dapat menurunkan efisiensi usaha tani dalam jangka panjang (Sabagh et al., 2021; Rouphael & Colla, 2020). Selain itu, penggunaan bahan kimia secara berlebihan berpotensi merusak kualitas tanah dan mengganggu keseimbangan mikroorganisme tanah yang penting bagi kesuburan (Abinandan et al., 2019; Meena et al., 2020). Kondisi ini menegaskan perlunya alternatif teknologi yang lebih ramah lingkungan, terjangkau, dan mudah diadopsi petani.

Sejalan dengan perkembangan pertanian berkelanjutan, pemanfaatan bahan alami sebagai sumber ZPT semakin banyak dikembangkan. Berbagai bahan organik di sekitar petani diketahui mengandung senyawa bioaktif yang berperan sebagai pemacu pertumbuhan alami melalui mekanisme mirip hormon tumbuhan, seperti pengaturan pembelahan sel, penyerapan hara, dan perkembangan tanaman (Nardi et al., 2021). Salah satu sumber potensial adalah limbah buah-buahan dari rumah tangga maupun aktivitas pertanian yang masih mengandung senyawa bioaktif untuk dimanfaatkan sebagai ZPT alami dan biostimulan. Pemanfaatan limbah ini tidak hanya meningkatkan nilai guna limbah organik, tetapi juga menekan biaya produksi serta mendukung penerapan ekonomi sirkular dalam sistem pertanian berkelanjutan (Haque et al., 2023).

Efektivitas ZPT alami dapat ditingkatkan melalui fermentasi yang melibatkan aktivitas mikroorganisme untuk menghasilkan senyawa bioaktif pendukung pertumbuhan tanaman (Naik et al., 2019; Han et al., 2024). Fermentasi merupakan proses biologis yang menguraikan bahan organik menjadi senyawa lebih sederhana sehingga lebih mudah diserap tanaman (Alrosan et al., 2022; Tao et al., 2022). Proses ini juga meningkatkan ketersediaan unsur hara serta potensi akumulasi

metabolit sekunder yang berperan dalam stimulasi pertumbuhan (Jagtap et al., 2023; Singh et al., 2022). Selama fermentasi, mikroorganisme menghasilkan senyawa bioaktif yang dapat merangsang perkembangan akar, meningkatkan fotosintesis, dan memperbaiki kemampuan penyerapan hara tanaman (Liu et al., 2024; Wang et al., 2021).

Dalam beberapa dekade terakhir, pemanfaatan mikroba sebagai pemacu pertumbuhan tanaman semakin berkembang. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) diketahui menghasilkan fitohormon seperti auksin, sitokinin, dan giberelin yang berperan dalam mengatur pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Orozco-Mosqueda et al., 2023). Selain itu, PGPR juga meningkatkan ketersediaan fosfor, memfiksasi nitrogen, menghasilkan siderofor, serta menekan patogen tanaman (Timofeeva et al., 2023; Hashem et al., 2019). Dengan demikian, teknologi berbasis fermentasi mikroba tidak hanya berfungsi sebagai sumber ZPT alami, tetapi juga sebagai biofertilizer yang mendukung kesehatan tanaman secara menyeluruh.

Pembibitan tanaman menggunakan polibag merupakan metode yang banyak digunakan petani karena sederhana, fleksibel, dan mudah dikelola. Sistem ini memungkinkan pengawasan pertumbuhan bibit secara intensif sebelum dipindahkan ke lahan utama, sekaligus memudahkan pengaturan media tanam, pengairan, dan pemberian nutrisi (Haase et al., 2021). Namun, kualitas bibit sangat bergantung pada kemampuan petani dalam mengelola media dan memberikan perlakuan yang tepat selama fase pembibitan (Makmur & Magfirah, 2018; Indrasari et al., 2020). Jika tidak dikelola secara optimal, bibit yang dihasilkan cenderung tumbuh lambat dan memiliki kualitas rendah.

Kelompok Tani Desa Reuleut Timu merupakan kelompok masyarakat yang aktif dalam budidaya tanaman dan pembibitan untuk memenuhi kebutuhan usaha tani anggotanya. Hasil identifikasi awal menunjukkan bahwa sebagian besar anggota masih menggunakan teknik pembibitan konvensional dengan keterbatasan input. Pengetahuan terkait pembuatan dan pemanfaatan ZPT alami berbasis fermentasi mikroba juga masih rendah, sehingga potensi bahan lokal di sekitar belum dimanfaatkan secara optimal. Akibatnya, petani masih

bergantung pada produk komersial yang menambah biaya produksi dan tidak selalu tersedia saat dibutuhkan.

Di sisi lain, Desa Reuleut Timu memiliki potensi sumber daya lokal yang melimpah untuk bahan baku ZPT alami, terutama dari limbah organik rumah tangga dan pertanian yang belum dimanfaatkan secara optimal. Jika diolah melalui teknologi fermentasi sederhana, petani berpeluang menghasilkan ZPT alami secara mandiri dengan biaya lebih rendah. Selain meningkatkan kualitas bibit tanaman, pemanfaatan limbah organik juga dapat mengurangi pencemaran lingkungan serta menambah nilai ekonomi sumber daya lokal yang selama ini kurang dimanfaatkan (Mahfut & Yulianty, 2019; Haedar et al., 2018).

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan pemberdayaan masyarakat melalui pengabdian yang berfokus pada peningkatan kapasitas petani dalam pemanfaatan ZPT alami berbasis fermentasi mikroba untuk pembibitan tanaman dalam polibag. Kegiatan dilakukan secara partisipatif melalui penyuluhan, pelatihan, demonstrasi, dan pendampingan guna meningkatkan pengetahuan, keterampilan, dan kemandirian petani dalam penerapan teknologi sederhana yang efektif. Kegiatan ini bertujuan meningkatkan pemahaman dan keterampilan Kelompok Tani Desa Reuleut Timu dalam produksi dan pemanfaatan ZPT alami berbasis fermentasi mikroba untuk meningkatkan kualitas bibit, sekaligus mendorong pertanian ramah lingkungan, mengurangi ketergantungan input eksternal, dan memperkuat kemandirian menuju pertanian berkelanjutan.

METODE PELAKSANAAN

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) ini dilaksanakan di Kelompok Tani Desa Reuleut Timu, Kabupaten Aceh Utara, dengan pendekatan partisipatif berbasis pemberdayaan masyarakat yang menekankan keterlibatan aktif mitra dalam seluruh tahapan kegiatan hingga evaluasi, guna meningkatkan kemandirian petani dalam penerapan teknologi pembibitan tanaman (Anithakumari et al., 2023; Oberson et al., 2024).

1. Tahap Sosialisasi dan Pendampingan Awal

Tahap awal kegiatan dilakukan melalui sosialisasi dan pendampingan kepada masyarakat Desa Reuleut Timu terkait pemeliharaan bibit tanaman dalam polibag. Kegiatan ini bertujuan memberikan pemahaman dasar mengenai pentingnya kualitas bibit dalam mendukung keberhasilan budidaya tanaman, serta memperkenalkan konsep zat pengatur tumbuh (ZPT) alami berbasis fermentasi mikroba. Pada tahap ini juga dilakukan diskusi interaktif untuk mengidentifikasi permasalahan mitra dalam proses pembibitan tanaman.

2. Tahap Demonstrasi (Praktik Lapangan/Plot Percobaan)

Tahap kedua dilakukan melalui demonstrasi langsung (demonstration plot) yang melibatkan tim pengabdian bersama anggota kelompok tani dalam mengaplikasikan media tanam dan teknik penanganan bibit pada polibag. Kegiatan ini mencakup praktik pembuatan media tanam, teknik penanaman bibit, serta penerapan ZPT alami berbasis fermentasi mikroba untuk merangsang pertumbuhan tanaman. Metode ini bertujuan memberikan pengalaman langsung kepada mitra agar teknologi lebih mudah dipahami dan diadopsi.

3. Tahap Aplikasi dan Pengelolaan Bibit dalam Polibag

Tahap ketiga merupakan implementasi lanjutan dari hasil demonstrasi, yaitu pengelolaan bibit tanaman secara intensif dalam media polibag. Pada tahap ini dilakukan pemeliharaan bibit dan pengamatan pertumbuhan tanaman setelah diberikan perlakuan ZPT alami hasil fermentasi. Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, dan kondisi umum pertumbuhan bibit. Kegiatan ini dilakukan secara partisipatif oleh mitra dengan pendampingan tim pengabdian untuk memastikan penerapan teknologi berjalan dengan baik.

4. Tahap Penataan, Evaluasi, dan Penguatan Kelembagaan Mitra

Tahap akhir dilakukan melalui kegiatan penataan hasil pembibitan serta evaluasi program bersama kelompok tani di area greenhouse. Pada tahap ini dilakukan pengelompokan dan penataan

komoditas bibit tanaman dalam polibag, sekaligus evaluasi terhadap pertumbuhan bibit dan efektivitas penggunaan ZPT alami. Selain itu, dilakukan penguatan kapasitas kelembagaan mitra dalam pengelolaan pembibitan tanaman secara berkelanjutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Pelaksanaan PkM di Kelompok Tani Desa Reuleut Timu difokuskan pada peningkatan kapasitas petani dalam pemanfaatan ZPT alami berbasis fermentasi mikroba untuk meningkatkan pertumbuhan dan kualitas bibit tanaman dalam polibag. Program ini menjawab permasalahan mitra terkait rendahnya pemahaman teknologi ZPT alami, keterbatasan keterampilan pembibitan, serta belum optimalnya pemanfaatan sumber daya organik lokal. Kegiatan dilaksanakan secara partisipatif melalui empat tahapan: sosialisasi dan pendampingan awal, demonstrasi lapangan, aplikasi pengelolaan bibit, serta penataan dan evaluasi hasil pembibitan di greenhouse Fakultas Pertanian Universitas Malikussaleh.

Sosialisasi dan Pendampingan Awal

Tahap awal kegiatan dimulai dengan sosialisasi dan pendampingan kepada masyarakat Desa Reuleut Timu mengenai pentingnya kualitas bibit dalam menentukan keberhasilan budidaya tanaman. Pada tahap ini, tim pengabdian menjelaskan bahwa fase pembibitan merupakan fase kritis yang sangat menentukan vigor tanaman, ketahanan terhadap stres lingkungan, serta produktivitas tanaman pada fase generatif. Selain itu, diperkenalkan pula konsep dasar zat pengatur tumbuh (ZPT) alami berbasis fermentasi mikroba sebagai alternatif teknologi yang lebih ramah lingkungan dibandingkan ZPT sintesis.

Hasil diskusi menunjukkan bahwa sebagian besar petani sebelumnya belum memahami secara spesifik peran hormon tumbuhan seperti auksin, sitokinin, dan giberelin dalam mendukung pertumbuhan bibit. Pengetahuan petani masih terbatas pada praktik konvensional

berbasis pengalaman turun-temurun tanpa pendekatan ilmiah yang sistematis. Melalui kegiatan ini, terjadi peningkatan kesadaran awal mitra mengenai pentingnya inovasi teknologi sederhana yang dapat diterapkan secara mandiri dengan memanfaatkan bahan lokal. Dokumentasi kegiatan ini disajikan pada Gambar 1, yang menunjukkan proses sosialisasi dan pendampingan awal bersama masyarakat.



Gambar 1. Sosialisasi program pemeliharaan bibit tanaman bersama warga Desa Reuleut Timu.

Demonstrasi (Praktik Lapangan / Demonstration Plot)

Tahap kedua merupakan implementasi metode learning by doing melalui demonstrasi langsung di lapangan (demonstration plot). Pada tahap ini, tim pengabdian bersama mitra melakukan praktik pembuatan media tanam, penanaman bibit dalam polibag, serta pengenalan teknik dasar pemeliharaan bibit. Selain itu, diperkenalkan juga formulasi dan aplikasi ZPT alami berbasis fermentasi mikroba yang berasal dari bahan-bahan lokal seperti air kelapa, bonggol pisang, dan limbah organik pertanian.

Kegiatan demonstrasi menunjukkan bahwa pendekatan praktik langsung jauh lebih efektif dalam meningkatkan pemahaman teknis dibandingkan hanya penyampaian materi teoritis. Mitra terlihat lebih cepat memahami alur kerja karena dapat melihat secara langsung proses dan hasil yang diharapkan. Interaksi aktif antara tim pengabdian dan peserta juga memperkuat transfer pengetahuan, khususnya dalam aspek teknis pembibitan. Kegiatan ini terdokumentasi dalam Gambar 2, yang memperlihatkan keterlibatan aktif mahasiswa dan pemuda tani dalam praktik lapangan.



Gambar 2. Demonstrasi Plot Pembibitan Bibit pada Polibag

Aplikasi, Pengelolaan, dan Penataan Bibit dalam Polibag

Tahap ketiga merupakan implementasi teknologi secara langsung oleh mitra dalam kegiatan pembibitan tanaman menggunakan polibag. Pada tahap ini, bibit yang telah ditanam diberikan perlakuan ZPT alami hasil fermentasi secara berkala untuk melihat respons pertumbuhan tanaman. Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah

daun, warna daun, serta perkembangan sistem perakaran sebagai indikator pertumbuhan vegetatif.

Hasil pengamatan menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan pertumbuhan bibit pada tanaman yang diberikan perlakuan ZPT alami dibandingkan dengan kondisi awal sebelum perlakuan. Bibit memperlihatkan kondisi yang lebih vigor, daun yang lebih hijau, serta perkembangan akar yang lebih aktif. Hal ini mengindikasikan bahwa ZPT alami berbasis fermentasi mikroba memiliki potensi sebagai biostimulan pertumbuhan tanaman yang efektif sekaligus ramah lingkungan.

Selanjutnya, bibit yang telah tumbuh kemudian dikelompokkan dan ditata berdasarkan tingkat pertumbuhan dan kualitasnya di area greenhouse bersama Kelompok Wanita Tani (KWT). Proses ini dilakukan sebagai bagian dari manajemen pembibitan untuk menjaga kerapian, memudahkan seleksi bibit, serta mendukung kesiapan bibit sebelum dipindahkan ke lahan utama.



Gambar 3. Penataan bibit tanaman bersama Kelompok Wanita Tani (KWT) di greenhouse

Evaluasi Peningkatan Pemahaman Mitra Berdasarkan Materi Sosialisasi

Selanjutnya, dilakukan evaluasi terhadap efektivitas penggunaan ZPT alami serta tingkat keberhasilan adopsi teknologi oleh mitra. Evaluasi ini mencakup pengukuran peningkatan pemahaman peserta melalui pre-test dan post-test sederhana dengan indikator meliputi konsep ZPT alami, fermentasi mikroba, teknik pembibitan dalam polibag, serta pemanfaatan sumber daya lokal.

Hasil evaluasi menunjukkan adanya peningkatan pemahaman mitra terhadap seluruh materi yang diberikan. Secara umum, petani mulai mampu memahami alur produksi ZPT alami, meskipun masih diperlukan pendampingan lanjutan untuk optimalisasi proses fermentasi. Kegiatan ini juga berkontribusi dalam memperkuat peran kelembagaan lokal, khususnya Kelompok Tani dan Kelompok Wanita Tani (KWT), dalam pengelolaan pembibitan berbasis rumah kaca.

Tabel 1. Persentase Peningkatan Pemahaman Mitra terhadap Materi Sosialisasi

Materi Sosialisasi		Indikator Pemahaman		Pre-Test (%)	Post-Test (%)	Peningkatan (%)
Konsep alami	ZPT	Mengetahui fungsi dan manfaat ZPT alami		32%	86%	+54%
Fermentasi mikroba		Memahami proses dan manfaat fermentasi		28%	82%	+54%
Teknik pembibitan polibag		Mengetahui teknik dasar pembibitan yang benar		40%	88%	+48%
Pemanfaatan bahan lokal		Mengetahui bahan organik sebagai ZPT		35%	90%	+55%
Pertanian berkelanjutan		Memahami konsep ramah lingkungan		30%	85%	+55%

Berdasarkan Tabel 1, seluruh materi sosialisasi mengalami peningkatan pemahaman yang signifikan, dengan kenaikan tertinggi pada aspek pemanfaatan bahan lokal dan pertanian berkelanjutan sebesar 55%. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan partisipatif melalui praktik langsung dan diskusi interaktif lebih efektif dalam meningkatkan literasi petani terhadap ZPT alami berbasis fermentasi mikroba serta penerapannya dalam pembibitan berkelanjutan.

B. Pembahasan

Peningkatan pemahaman petani terhadap konsep Zat Pengatur Tumbuh (ZPT) alami dalam kegiatan ini tidak dapat dilepaskan dari efektivitas pendekatan partisipatif yang digunakan. Dibandingkan pendekatan transfer pengetahuan konvensional yang cenderung satu arah, model pembelajaran berbasis partisipasi aktif melalui diskusi, praktik langsung, dan demonstrasi lapangan terbukti lebih adaptif terhadap karakteristik petani sebagai pembelajar berbasis pengalaman. Hal ini memperkuat prinsip *experiential learning* yang menempatkan pengalaman nyata sebagai fondasi utama dalam proses adopsi inovasi pertanian (Okumah et al., 2021; Tomlinson & Rhiney, 2018). Dalam konteks ini, peningkatan literasi petani bukan hanya bersifat kognitif, tetapi juga tercermin dalam kemampuan aplikatif pada sistem pembibitan.

Pemanfaatan bahan organik lokal sebagai sumber ZPT alami menunjukkan potensi bioresource yang selama ini belum dioptimalkan dalam sistem budidaya skala rumah tangga tani. Berbagai bahan seperti air kelapa, bonggol pisang, dan limbah buah diketahui mengandung senyawa bioaktif yang dapat berfungsi sebagai prekursor hormon tumbuhan serta berpotensi menggantikan penggunaan ZPT sintesis dalam sistem pertanian berkelanjutan (Chauhan et al., 2018; Hasanah et al., 2019; Asami & Nakagawa, 2018). Air kelapa, misalnya, diketahui mengandung sitokinin yang berperan dalam regulasi pembelahan sel dan morfogenesis tanaman, sementara bahan organik lain menyediakan senyawa pendukung pertumbuhan vegetatif (Sunarpi et al., 2020). Namun demikian, potensi ini tidak selalu memberikan efek optimal apabila tidak melalui proses pengolahan yang tepat, terutama dalam

konteks stabilitas senyawa aktif dan ketersediaan biologisnya bagi tanaman.

Dalam hal ini, fermentasi mikroba berperan sebagai proses biokonversi yang signifikan dalam mengubah bahan organik menjadi produk yang lebih bernilai serta meningkatkan efektivitasnya sebagai sumber hara dan biostimulan (Chavan et al., 2021; Arkhipchenko et al., 2020). Proses fermentasi tidak hanya berfungsi sebagai dekomposisi material organik, tetapi juga sebagai sistem biologis yang menghasilkan metabolit aktif seperti asam organik, enzim, dan senyawa bio-stimulan. Transformasi ini meningkatkan bioavailabilitas nutrisi serta mempercepat respons fisiologis tanaman pada fase awal pertumbuhan (Liu et al., 2023; Skrzypczak et al., 2021). Dengan demikian, fermentasi dapat dipandang sebagai teknologi kunci dalam integrasi ZPT alami berbasis sumber daya lokal.

Mikroorganisme pemacu pertumbuhan tanaman (PGPR) berperan sebagai dasar biologis peningkatan performa bibit melalui produksi fitohormon (auksin dan sitokinin) serta peningkatan efisiensi nutrisi melalui pelarutan fosfat, fiksasi nitrogen, dan produksi siderofor (Sharma et al., 2025; Timofeeva et al., 2023). Fitohormon, khususnya auksin, berperan dalam regulasi perkembangan sistem perakaran melalui jalur sinyal kompleks yang memengaruhi berbagai tahap pertumbuhan tanaman (Mehmood Jan et al., 2024; Yuru Ma et al., 2024), sementara arsitektur akar menentukan efisiensi penyerapan air dan nutrisi serta performa tanaman secara keseluruhan (C. Maurel & P. Nacry, 2020). Sinergi mekanisme tersebut meningkatkan vigor bibit dan memperbaiki arsitektur perakaran, meskipun efektivitas PGPR tetap dipengaruhi oleh kondisi mikro lingkungan media tanam yang bervariasi.

Sistem pembibitan menggunakan polibag memberikan keunggulan dalam hal kontrol lingkungan tumbuh, terutama pada fase awal pertumbuhan tanaman. Media terkontrol memungkinkan pengaturan kelembaban, nutrisi, dan struktur fisik tanah secara lebih presisi dibandingkan sistem tanam langsung di lahan terbuka. Meskipun demikian, keberhasilan sistem ini sangat bergantung pada kompetensi teknis petani dalam mengelola media tanam serta konsistensi dalam pemberian perlakuan pertumbuhan. Ketidaktepatan dalam pengelolaan

dapat menyebabkan heterogenitas pertumbuhan bibit, yang berdampak pada kualitas output pembibitan (Agustina et al., 2020; Wulandari et al., 2018; Ariawan et al., 2025).

Hasil implementasi di lapangan menunjukkan bahwa pendekatan demonstrasi (*demonstration plot*) memiliki efektivitas tinggi dalam mempercepat proses adopsi teknologi. Berbeda dengan metode penyuluhan konvensional, pendekatan ini memungkinkan terjadinya proses validasi langsung antara konsep dan praktik. Petani tidak hanya menjadi pengamat, tetapi juga aktor aktif dalam proses produksi ZPT alami dan aplikasinya pada bibit tanaman. Interaksi langsung ini memperkuat mekanisme pembelajaran sosial (*social learning*), yang berperan penting dalam mempercepat penyebaran inovasi pada komunitas petani (Li et al., 2018; Hermans et al., 2023; Freeman & Qin, 2020).

Dari sisi hasil, penerapan ZPT alami berbasis fermentasi mikroba menunjukkan indikasi peningkatan pertumbuhan vegetatif bibit, yang ditandai dengan peningkatan tinggi tanaman, jumlah daun, serta vigor secara umum. Meskipun pengukuran masih bersifat observasional, temuan ini konsisten dengan mekanisme biologis yang telah dijelaskan sebelumnya terkait peran hormon tumbuhan dan aktivitas mikroba. Namun demikian, efektivitas jangka panjang dan konsistensi hasil masih memerlukan pengujian lebih lanjut melalui pendekatan kuantitatif yang lebih terstandar.

Hasil kegiatan menunjukkan bahwa integrasi teknologi ZPT alami berbasis fermentasi mikroba dengan pendekatan partisipatif mampu menjadi strategi efektif dalam meningkatkan kapasitas petani sekaligus memperbaiki kualitas bibit tanaman di tingkat desa. Temuan ini menegaskan bahwa inovasi teknologi pertanian tidak harus bergantung pada input eksternal berbasis industri, tetapi dapat dibangun dari optimalisasi sumber daya lokal yang tersedia di lingkungan petani. Dalam konteks Desa Reuleut Timu, pendekatan ini memberikan kontribusi nyata dalam memperkuat praktik pembibitan yang lebih mandiri, adaptif, dan berkelanjutan.

Meskipun demikian, efektivitas teknologi yang diterapkan masih memerlukan pengujian lanjutan yang lebih terukur, khususnya melalui pendekatan eksperimental kuantitatif untuk memastikan konsistensi

dosis, stabilitas fermentasi, serta validasi efek fisiologis terhadap berbagai jenis tanaman. Oleh karena itu, kegiatan ini dapat diposisikan sebagai tahap awal dalam pengembangan model pemberdayaan berbasis bio-input lokal yang berpotensi untuk direplikasi pada skala komunitas yang lebih luas.

KESIMPULAN

Kegiatan PkM ini meningkatkan pemahaman dan keterampilan petani dalam pemanfaatan ZPT alami berbasis fermentasi mikroba untuk pembibitan dalam polibag melalui pendekatan partisipatif (sosialisasi, demonstrasi, dan praktik langsung). Metode learning by doing terbukti mempercepat adopsi teknologi, ditunjukkan oleh peningkatan pemahaman konsep ZPT, kemampuan produksi dan aplikasi mandiri, serta perbaikan teknik pembibitan. Penggunaan bahan organik lokal juga berdampak positif pada pertumbuhan bibit, seperti peningkatan vigor, tinggi tanaman, dan jumlah daun, sekaligus mengurangi ketergantungan pada input sintetis dan mendukung pertanian berkelanjutan. Namun, efektivitas jangka panjang masih memerlukan evaluasi kuantitatif dan standarisasi proses fermentasi.

DAFTAR RUJUKAN

- Abinandan, S., Subashchandrabose, S. R., Venkateswarlu, K., & Megharaj, M. (2019). Soil microalgae and cyanobacteria: the biotechnological potential in the maintenance of soil fertility and health. *Critical Reviews in Biotechnology*, 39(8), 981–998. <https://doi.org/10.1080/07388551.2019.1654972>
- Agustina, M., Maisura, M., Hafifah, H., Nazirah, L., Ismadi, I., & Handayani, R. S. (2020). Pengaruh Pembelahan Eksplan Biji dan Jenis Media Terhadap Keberhasilan Sambung Mikro Manggis Di Pesemaian. *Jurnal Agrotek Tropika*, 8(3), 597-605. <https://doi.org/10.23960/jat.v8i3.4508>
- Al Ashar, I. A., Hermawan, H., Hidayat, M., & Andini, J. F. (2025). Integrasi sensor pH dan TDS dengan aplikasi Tuya untuk sistem kontrol nutrisi real-time pada pembibitan kentang aeroponik:

- pendekatan smart farming berbasis IoT. *Device*, 15(2), 223–240.
<https://doi.org/10.32699/7rnxb043>
- Alrosan, M., Tan, T. C., Koh, W. Y., Easa, A. M., Gammoh, S., & Alu'datt, M. H. (2023). Overview of fermentation process: structure-function relationship on protein quality and non-nutritive compounds of plant-based proteins and carbohydrates. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(25), 7677–7691.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2049200>
- Anithakumari, P., Indhuja, S., & Shareefa, M. (2023). Community farm school approach for coconut seedlings/juveniles through collaborative social actions. *Journal of Plantation Crops*, 51(2), 77–88. <https://doi.org/10.25081/jpc.2023.v51.i2.8669>
- Arkhipchenko, I. A., Bakina, L. G., Bruhanov, A. Y., Orlova, O. V., & Tarasov, S. I. (2020). Transformation in the microbial community and of organic substrate during aerobic fermentation of manure. *Ecology and Industry of Russia*, 24(8), 22–27.
<https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-8-22-27>
- Asami, T., & Nakagawa, Y. (2018). Preface to the Special Issue: Brief review of plant hormones and their utilization in agriculture. *Journal of pesticide science*, 43(3), 154–158.
<https://doi.org/10.1584/jpestics.M18-02>
- Bañón, D., Ortuño, M. F., Sánchez-Blanco, M. J., Pagán, B. L., & Bañón, S. (2023). Effects of Paclobutrazol and Mepiquat Chloride on the Physiological, Nutritional, and Morphological Behavior of Potted Icteria Sage under Greenhouse Conditions. *Agronomy*, 13(8), 2161. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082161>
- Cardarelli, M., Woo, S. L., Roupael, Y., & Colla, G. (2022). Seed Treatments with Microorganisms Can Have a Biostimulant Effect by Influencing Germination and Seedling Growth of Crops. *Plants*, 11(3), 259. <https://doi.org/10.3390/plants11030259>

- Carra, B., Cabrera, D., Rodriguez, P., & Dini, M. (2023). Improving feathering in different nursery apple trees by plant growth regulators. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 45, e-965. <https://doi.org/10.1590/0100-29452023965>
- Caverzan, A., Giacomini, R., Müller, M., Biazus, C., Lângaro, N. C., & Chavarria, G. (2018). How does seed vigor affect soybean yield components?. *Agronomy Journal*, 110(4), 1318-1327. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.11.0670>
- Chauhan, U., Singh, A. K., Godani, D., Handa, S., Gupta, P. S., Patel, S., & Joshi, P. (2018). Some natural extracts from plants as low-cost alternatives for synthetic PGRs in rose micropropagation. <https://doi.org/10.37855/jah.2018.v20i02.19>
- Chavan, S., Yadav, B., Atmakuri, A., Tyagi, R. D., Wong, J. W., & Drogui, P. (2022). Bioconversion of organic wastes into value-added products: A review. *Bioresource Technology*, 344, 126398. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126398>
- Chen X (2025) The role of modern agricultural technologies in improving agricultural productivity and land use efficiency. *Front. Plant Sci.* 16:1675657. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1675657>
- Chimwamurombe, P. M., & Mataranyika, P. N. (2021). Factors influencing dryland agricultural productivity. *Journal of Arid Environments*, 189, 104489. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104489>
- Cummane, Jake, William J. W. Thomas, Maria Lee, Mohammad Sayari, David Edwards, Jacqueline Batley, and Aria Dolatabadian. 2025. "Omics for Improving Seed Quality and Yield" *Seeds* 4, no. 4: 49. <https://doi.org/10.3390/seeds4040049>
- Ebone, L. A., Caverzan, A., Tagliari, A., Chiomento, J. L. T., Silveira, D. C., & Chavarria, G. (2020). Soybean Seed Vigor: Uniformity and Growth as Key Factors to Improve Yield. *Agronomy*, 10(4), 545. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040545>

- Freeman, K., & Qin, H. (2020). The Role of Information and Interaction Processes in the Adoption of Agriculture Inputs in Uganda. *Agronomy*, 10(2), 202. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020202>
- Gancheva, M. S., Malovichko, Y. V., Poliushkevich, L. O., Dodueva, I. E., & Lutova, L. A. (2019). Plant peptide hormones. *Russian Journal of Plant Physiology*, 66(2), 171-189. <https://doi.org/10.1134/S1021443719010072>
- Haase, D. L., Bouzza, K., Emerton, L., Friday, J. B., Lieberg, B., Aldrete, A., & Davis, A. S. (2021). The High Cost of the Low-Cost Polybag System: A Review of Nursery Seedling Production Systems. *Land*, 10(8), 826. <https://doi.org/10.3390/land10080826>
- Haedar, H., Suardi, A., Sapri, H., & Kasran, M. (2018). Pemberdayaan masyarakat melalui program pembelajaran pembuatan pakan dari limbah ampas sagu di Desa Buntu Terpedo. *Jurnal Dedikasi Masyarakat*, 1(2), 90-97. <https://doi.org/10.31850/jdm.v1i2.323>
- Han, Y., Tian, L., Luo, Y., & Han, L. (2024). Inoculation with PGPR co-fermented broths promotes growth, yields, and quality of pepper by increasing soil nutrients and changing soil bacterial community. *Journal of Applied Microbiology*, 135(11), 1xae289. <https://doi.org/10.1093/jambio/1xae289>
- Hariato, K., & Wardhani, R. K. (2020). Peranan sektor pertanian, kehutanan, dan perikanan dalam perekonomian Kabupaten Kediri. *Develop*, 4(2), 1-10. <https://doi.org/10.25139/dev.v4i2.2797>
- Hasanah, Y., Mawarni, L., & Rusmarilin, H. (2019). Physiological characteristics of binahong (*Anredera cordifolia* (Ten.) Steenis) on application of natural plant growth regulator. *Asian Journal of Plant Sciences*, 18, 117-122. <https://doi.org/10.3923/ajps.2019.117.122>

- Hashem, A., Tabassum, B., & Abd_Allah, E. F. (2019). *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. *Saudi journal of biological sciences*, 26(6), 1291-1297. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.05.004>
- Haque, F., Fan, C., & Lee, Y. Y. (2023). From waste to value: Addressing the relevance of waste recovery to agricultural sector in line with circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 415, 137873. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137873>
- Hermans, T. D., Smith, H. E., Whitfield, S., Sallu, S. M., Recha, J., Dougill, A. J., ... & Meshack, C. (2023). Role of the interaction space in shaping innovation for sustainable agriculture: Empirical insights from African case studies. *Journal of Rural Studies*, 100, 103012. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2023.103012>
- Hrustek, L. (2020). Sustainability Driven by Agriculture through Digital Transformation. *Sustainability*, 12(20), 8596. <https://doi.org/10.3390/su12208596>
- Indrasari, S., Rini, M. V., Arif, M. A. S., & Niswati, A. (2020). SELEKSI ISOLAT ORCHID MYCORRHIZA PADA BIBIT ANGGREK *Phalaenopsis amabilis* PADA MEDIA COCOPEAT DAN ARANG SEKAM SAAT AKLIMATISASI. *Jurnal Agrotek Tropika*, 8(1), 27-35. <https://doi.org/10.23960/jat.v8i1.3672>
- Jagtap, R. R., Mali, G. V., Waghmare, S. R., Nadaf, N. H., Nimbalkar, M. S., & Sonawane, K. D. (2023). Impact of plant growth promoting rhizobacteria *Serratia nematodiphila* RGK and *Pseudomonas plecoglossicida* RGK on secondary metabolites of turmeric rhizome. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 47, 102622. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102622>
- Jan, M., Muhammad, S., Jin, W., Zhong, W., Zhang, S., Lin, Y., ... & Wang, G. (2024). Modulating root system architecture: cross-talk between auxin and phytohormones. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1343928. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1343928>

- Li, Q., Yang, W., & Li, K. (2018). Role of Social Learning in the Diffusion of Environmentally-Friendly Agricultural Technology in China. *Sustainability*, 10(5), 1527. <https://doi.org/10.3390/su10051527>
- Litwińczuk, W., & Jacek, B. (2023). Growth of *Paulownia* ssp. Interspecific Hybrid 'Oxytree' Micropropagated Nursery Plants under the Influence of Plant-Growth Regulators. *Agronomy*, 13(10), 2474. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102474>
- Liu, Q., Kawai, T., Inukai, Y., Aoki, D., Feng, Z., Xiao, Y., ... & Li, B. (2023). A lignin-derived material improves plant nutrient bioavailability and growth through its metal chelating capacity. *Nature Communications*, 14(1), 4866. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-40497-2>
- Liu, Y., Shi, A., Chen, Y., Xu, Z., Liu, Y., Yao, Y., ... & Jia, B. (2025). Beneficial microorganisms: regulating growth and defense for plant welfare. *Plant Biotechnology Journal*, 23(3), 986-998. <https://doi.org/10.1111/pbi.14554>
- Ma, Y., Zhang, Y., Xu, J., Qi, J., Liu, X., Guo, L., & Zhang, H. (2024). Research on the Mechanisms of Phytohormone Signaling in Regulating Root Development. *Plants*, 13(21), 3051. <https://doi.org/10.3390/plants13213051>
- Mahfut, M., & Yulianty, Y. (2019). Chili Cultivation Technique Using Fermentation of Liquid Organic Fertilizer as Catfish Waste Utilization in Tasik Madu Village, Merbau Mataram. *Pelita Eksakta*, 2(2), 164-171. <https://doi.org/10.24036/pelitaeksakta/vol2-iss2/71>
- Makmur, M., & Magfirah, M. (2018). Respon pemberian berbagai dosis pupuk organik cair terhadap pertumbuhan dan perkembangan cabai merah. *Journal Galung Tropika*, 7(1), 1-10. <https://doi.org/10.31850/jgt.v7i1.321>

- Maurel, C., & Nacry, P. (2020). Root architecture and hydraulics converge for acclimation to changing water availability. *Nature plants*, 6(7), 744-749. <https://doi.org/10.1038/s41477-020-0684-5>
- Mazzoni-Putman, S. M., Brumos, J., Zhao, C., Alonso, J. M., & Stepanova, A. N. (2021). Auxin interactions with other hormones in plant development. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 13(10), a039990. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a039990>
- Meena, R. S., Kumar, S., Datta, R., Lal, R., Vijayakumar, V., Brtnicky, M., Sharma, M. P., Yadav, G. S., Jhariya, M. K., Jangir, C. K., Pathan, S. I., Dokulilova, T., Pecina, V., & Marfo, T. D. (2020). Impact of Agrochemicals on Soil Microbiota and Management: A Review. *Land*, 9(2), 34. <https://doi.org/10.3390/land9020034>
- Naik, K., Mishra, S., Srichandan, H., Singh, P. K., & Sarangi, P. K. (2019). Plant growth promoting microbes: Potential link to sustainable agriculture and environment. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21, 101326. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101326>
- Nardi, S., Schiavon, M., & Francioso, O. (2021). Chemical Structure and Biological Activity of Humic Substances Define Their Role as Plant Growth Promoters. *Molecules*, 26(8), 2256. <https://doi.org/10.3390/molecules26082256>
- Ngadi, N., Zaelany, A. A., Latifa, A., Harfina, D., Asiati, D., Setiawan, B., Ibnu, F., Triyono, T., & Rajagukguk, Z. (2023). Challenge of Agriculture Development in Indonesia: Rural Youth Mobility and Aging Workers in Agriculture Sector. *Sustainability*, 15(2), 922. <https://doi.org/10.3390/su15020922>
- Oberson, N., Moussa, H. O., Aminou, A. M., Kidane, Y. G., Luo, J. N., Giuliani, A., ... & Haussmann, B. I. (2024). Participatory research at scale: A comparative analysis of four approaches to large-scale agricultural technology testing with farmers. *Outlook on*

- Agriculture*, 53(4), 320-335.
<https://doi.org/10.1177/00307270241295763>
- Okumah, M., Martin-Ortega, J., Chapman, P. J., Novo, P., Cassidy, R., Lyon, C., ... & Doody, D. (2021). The role of experiential learning in the adoption of best land management practices. *Land Use Policy*, 105, 105397.
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105397>
- Orozco-Mosqueda, M. d. C., Santoyo, G., & Glick, B. R. (2023). Recent Advances in the Bacterial Phytohormone Modulation of Plant Growth. *Plants*, 12(3), 606.
<https://doi.org/10.3390/plants12030606>
- Pereira, V. J. (2020). Explaining the vigor (relative and absolute) in seeds: the biological meaning behind the mathematician. *Bioscience Journal*, 36, 290-300. <https://doi.org/10.14393/BJ-v36n0a2020-48957>
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Editorial: Biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11, 40.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
- Sabagh, A. E. L., Mbarki, S., Hossain, A., Iqbal, M. A., Islam, M. S., Raza, A., Llanes, A., Reginato, M., Rahman, M. A., Mahboob, W., Singhal, R. K., Kumari, A., Rajendran, K., Wasaya, A., Javed, T., Shabbir, R., Rahim, J., Barutçular, C., Habib Ur Rahman, M., ... Farooq, M. (2021). Potential role of plant growth regulators in administering crucial processes against abiotic stresses. *Frontiers in Agronomy*, 3, 648694.
<https://doi.org/10.3389/fagro.2021.648694>
- Sharma, N., Mahawar, L., Mishra, A., & Albrechtsen, B. R. (2025). Microbial Contributions to Plant Growth and StressTolerance: Mechanisms for Sustainable Plant Production. *Plant Stress*, 100966. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.100966>

- Singh, D., Thapa, S., Mahawar, H., Kumar, D., Geat, N., & Singh, S. K. (2022). Prospecting potential of endophytes for modulation of biosynthesis of therapeutic bioactive secondary metabolites and plant growth promotion of medicinal and aromatic plants. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 115(6), 699-730. <https://doi.org/10.1007/s10482-022-01736-6>
- Skrzypczak, D., Jarzembowski, Ł., Izydorczyk, G., Mikula, K., Hoppe, V., Mielko, K. A., Pudelko-Malik, N., Młynarz, P., Chojnacka, K., & Witek-Krowiak, A. (2021). Hydrogel Alginate Seed Coating as an Innovative Method for Delivering Nutrients at the Early Stages of Plant Growth. *Polymers*, 13(23), 4233. <https://doi.org/10.3390/polym13234233>
- Sunarpi, H., Kurnianingsih, R., Ghazali, M., Fanani, R. A., Sunarwidhi, A. L., Widyastuti, S., ... Prasedya, E. S. (2020). Evidence for the presence of growth-promoting factors in Lombok *Turbinaria murayana* extract stimulating growth and yield of tomato plants (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *Journal of Plant Nutrition*, 43(12), 1813–1823. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1750642>
- Syamola, D., & Nurwahyuni, A. (2019). Determinan Ketahanan Pangan Rumah Tangga di Daerah Pedesaan di Indonesia (Analisis Data Susenas Tahun 2017). <https://doi.org/10.30597/mkmi.v15i1.5880>
- Tao, J., Chen, Q., Chen, S., Lu, P., Chen, Y., Jin, J., ... & Cao, P. (2022). Metagenomic insight into the microbial degradation of organic compounds in fermented plant leaves. *Environmental Research*, 214, 113902. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113902>
- Timofeeva, A. M., Galyamova, M. R., & Sedykh, S. E. (2023). Plant Growth-Promoting Soil Bacteria: Nitrogen Fixation, Phosphate Solubilization, Siderophore Production, and Other Biological Activities. *Plants*, 12(24), 4074. <https://doi.org/10.3390/plants12244074>

- Tomlinson, J., & Rhiney, K. (2018). Experiential Learning as a Tool for Farmer Engagement and Empowerment in a Changing Regional Climate. *Caribbean Quarterly*, 64(1), 114-135. <https://doi.org/10.1080/00086495.2018.1435342>
- Wang, Z., Xu, Z., Chen, Z., Kowalchuk, G. A., Fu, X., & Kuramae, E. E. (2021). Microbial inoculants modulate growth traits, nutrients acquisition and bioactive compounds accumulation of *Cyclocarya paliurus* (Batal.) Iljinskaja under degraded field condition. *Forest Ecology and Management*, 482, 118897. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118897>
- Wulandari, A., Hendarto, K., Andalasari, T. D., & Widagdo, S. (2018). Pengaruh Dosis Pupuk Npk dan Aplikasi Pupuk Daun terhadap Pertumbuhan Bibit Cabai Keriting (*Capsicum annum* L.). *Jurnal Agrotek Tropika*, 6(1). <https://doi.org/10.23960/jat.v6i1.2526>
- Yang C, Hu Z, Datla R and Xiang D (2025) Editorial: Omics in seed development: challenges and opportunities for improving of seed quality and yield in model and crop plants. *Front. Plant Sci.* 16:1568039. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1568039>
- Zelisko, N., Raiter, N., Markovych, N., Matskiv, H., & Vasylyna, O. (2024). Improving business processes in the agricultural sector considering economic security, digitalization, risks, and artificial intelligence. *Ekonomika APK*, 31(3), 10-21. <https://doi.org/10.32317/2221-1055.2024030.10>.