

## Pemberdayaan Petani dan Mahasiswa Melalui Pelatihan Pembuatan Berbagai Jenis Pupuk dan Pestisida Sebagai Upaya Mendukung Pertanian Berkelanjutan

**Susiyanti<sup>1\*</sup>, Andi Apriany Fatmawaty<sup>2</sup>, Nurmayulis<sup>3</sup>, Dhani Nur Dharmawan<sup>4</sup>, Eries Dyah Mustikarini<sup>5</sup>, Yusniwati<sup>6</sup>, Yuliantina Azka<sup>7</sup>**

<sup>1</sup>)Program Studi Magister Ilmu Pertanian, Pascasarjana, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten

<sup>2,3,4</sup>) Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten

<sup>5</sup>)Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Bangka Belitung

<sup>6</sup>)Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Sumatera Barat

<sup>7</sup>)Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Tridianti, Sumatera Selatan

\*Penulis korespondensi: susiyanti@untirta.ac.id

### ABSTRACT

*This community service activity aims to enhance the capacity of local farmers and students in producing and applying environmentally friendly agro-inputs, namely solid and liquid organic fertilizers, biofertilizers, and botanical pesticides. Through the 2023 DIKTI Matching Fund program, the initiative included the development of a handbook, training sessions, and hands-on practice involving MBKM students and partner farmers. Evaluation was conducted through field observations and laboratory analysis. The results showed an improvement in participants' understanding and skills, as well as the emergence of independent production initiatives. This activity demonstrates the effectiveness of education–community collaboration in supporting sustainable agricultural systems.*

**Keywords:** empowerment, organic fertilizer, botanical pesticide, environmentally friendly agro-inputs, sustainable agriculture

### ABSTRAK

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitas petani lokal dan mahasiswa dalam memproduksi dan menerapkan agroinput ramah lingkungan, yaitu pupuk organik padat dan cair, pupuk hayati, serta pestisida nabati. Melalui program Matching Fund DIKTI 2023, dilakukan penyusunan buku panduan, pelatihan, serta praktik langsung yang melibatkan mahasiswa MBKM dan petani mitra. Evaluasi dilakukan melalui observasi lapangan dan analisis laboratorium. Hasil kegiatan menunjukkan peningkatan pemahaman, keterampilan, serta munculnya inisiatif produksi mandiri oleh peserta. Kegiatan ini membuktikan efektivitas kolaborasi pendidikan–masyarakat dalam mendukung sistem pertanian berkelanjutan.

**Kata kunci:** pemberdayaan, pupuk organik, pestisida nabati, agroinput ramah lingkungan, pertanian berkelanjutan

### PENDAHULUAN

Pertanian berkelanjutan merupakan pendekatan yang menyeimbangkan kebutuhan produksi pangan dengan pelestarian lingkungan, kesejahteraan sosial, dan ekonomi petani. Di Indonesia, praktik pertanian konvensional yang bergantung pada input kimia sintesis seperti pupuk anorganik dan pestisida kimia telah menimbulkan berbagai permasalahan, termasuk degradasi lahan, pencemaran lingkungan, dan dampak negatif terhadap kesehatan manusia serta ekosistem (Sutriadi et al., 2020). Untuk mengatasi tantangan tersebut, diperlukan inovasi dalam praktik pertanian yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Pupuk organik dan hayati merupakan alternatif yang efektif dalam meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman tanpa merusak lingkungan. Pupuk organik, yang berasal dari bahan-bahan alami seperti limbah pertanian dan kotoran hewan, dapat memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah (Rahmah et al., 2014). Sementara itu, pupuk hayati mengandung mikroorganisme hidup yang bermanfaat dalam meningkatkan ketersediaan hara bagi

tanaman (Tarigan, 2025). Penggunaan pupuk organik dan hayati secara terpadu dapat meningkatkan efisiensi pemupukan dan mendukung pertanian berkelanjutan.

Selain itu, pestisida nabati yang berasal dari ekstrak tumbuhan seperti daun mimba, bawang putih, dan sereh, menawarkan solusi pengendalian hama yang lebih aman bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Pestisida nabati memiliki sifat biodegradabel, tidak meninggalkan residu berbahaya, dan dapat diproduksi secara lokal oleh petani (Kementerian Pertanian, 2022). Penggunaan pestisida nabati juga sejalan dengan prinsip pertanian organik yang menghindari penggunaan bahan kimia sintetis.

Pemberdayaan petani melalui pelatihan pembuatan dan penggunaan pupuk organik, hayati, serta pestisida nabati telah menunjukkan hasil positif di berbagai daerah. Misalnya, di Desa Dawuhan, Banyumas, pelatihan pembuatan pupuk organik cair dan pestisida nabati meningkatkan keterampilan petani dalam mengelola lahan secara organik, sehingga mendukung produksi padi organik yang lebih berkelanjutan (Andinovia, 2021). Demikian pula, di Desa Tukadaya, Bali, pelatihan serupa membantu petani dalam budidaya tanaman porang secara organik, meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil panen (Budiasa et al., 2022). Mahasiswa sebagai agen perubahan juga memiliki peran penting dalam mendukung pertanian berkelanjutan. Melalui program pengabdian masyarakat, mahasiswa dapat mentransfer pengetahuan dan teknologi kepada petani, serta mendorong adopsi praktik pertanian ramah lingkungan. Pelatihan yang melibatkan mahasiswa dan ibu-ibu Kelompok Wanita Tani dalam pembuatan pupuk organik cair dan pestisida nabati berhasil meningkatkan kesadaran dan keterampilan masyarakat dalam praktik pertanian berkelanjutan.

Namun, adopsi teknologi pertanian berkelanjutan masih menghadapi berbagai tantangan, termasuk keterbatasan pengetahuan, akses terhadap bahan baku, dan dukungan kebijakan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan holistik yang melibatkan berbagai pemangku kepentingan, termasuk pemerintah, lembaga pendidikan, dan organisasi masyarakat, untuk mendorong transformasi menuju sistem pertanian yang lebih berkelanjutan.

Artikel ini bertujuan untuk mendeskripsikan upaya pemberdayaan petani dan mahasiswa melalui pelatihan pembuatan pupuk organik, hayati, dan pestisida nabati sebagai strategi mendukung pertanian berkelanjutan. Dengan mengadopsi pendekatan partisipatif dan kolaboratif, diharapkan dapat tercipta sinergi antara ilmu pengetahuan, kearifan lokal, dan praktik pertanian yang ramah lingkungan.

## METODE

Kegiatan merupakan Kerjasama antara Untirta dan juga petani mitra di Desa Cileles, kabupaten Lebak, yang didanai oleh Kedaireka pada 23 September 2023. Pada kegiatan tersebut didukung dengan penyusunan buku panduan untuk pembuatan Pupuk Organik, Hayati, dan Pestisida Nabati. Pelatihan teori dan praktik pembuatan pupuk dan pestisida, melibatkan mahasiswa dalam kegiatan MBKM dan praktikum, serta uji laboratorium. Bahan baku meliputi urine dan kotoran hewan, jerami padi, limbah tanaman jagung, daun dan akar bambu. Evaluasi dilakukan dengan observasi adopsi praktik di lapangan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hilirisasi Produk berupa pembuatan prototipe sudah berhasil terlaksana dalam kegiatan pemberdayaan petani melalui Pelatihan Pupuk Organik, Hayati, dan Pestisida Nabati sebagai Upaya Mendukung Pertanian Berkelanjutan, yang telah dilaksanakan di Kebun Percobaan untirta Karang Kitri, Kabupaten Serang dan di Desa Cileles, Kabupaten Lebak, Banten. Adapun produk prototipe yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

Kegiatan hilirisasi produk melalui pembuatan prototipe telah berhasil dilaksanakan sebagai bagian dari program pemberdayaan petani dalam Pelatihan Pupuk Organik, Hayati, dan Pestisida Nabati sebagai Upaya Mendukung Pertanian Berkelanjutan. Pelatihan ini berlangsung di dua lokasi, yaitu Kebun Percobaan Universitas Sultan Ageng Tirtayasa (Untirta) di Karang Kitri, Kabupaten Serang, dan di Desa Cileles, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten.

Melalui pelatihan ini, peserta tidak hanya memperoleh pengetahuan teoretis, tetapi juga berhasil memproduksi berbagai prototipe produk yang berpotensi menunjang praktik pertanian berkelanjutan. Produk-produk yang berhasil dihasilkan meliputi:

#### a) Pupuk Hayati / POC / PGPR

Pupuk cair hayati merupakan formulasi yang mengandung mikroorganisme hidup, seperti bakteri dan jamur, yang berperan aktif dalam meningkatkan kesuburan tanah dan merangsang pertumbuhan tanaman. Mikroorganisme ini bekerja dengan cara memperbaiki struktur tanah, meningkatkan ketersediaan nutrisi, dan menstimulasi pertumbuhan akar, sehingga tanaman dapat tumbuh lebih sehat dan produktif. Adapun produk Pupuk Hayati / POC / PGPR dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Produk Pupuk Hayati / POC / PGPR

Salah satu mekanisme utama kerja pupuk cair hayati adalah melalui peningkatan aktivitas mikroba di zona perakaran (rizosfer). Mikroorganisme seperti *Azotobacter*, *Azospirillum*, dan *Pseudomonas* mampu memfiksasi nitrogen atmosfer, melarutkan fosfat yang tidak tersedia, serta menghasilkan fitohormon seperti auksin dan giberelin yang merangsang pertumbuhan tanaman (Bhardwaj et al., 2014). Selain itu, aplikasi pupuk cair hayati dapat meningkatkan keragaman dan aktivitas mikroba tanah, yang berkontribusi pada pembentukan agregat tanah, meningkatkan porositas, dan memperbaiki retensi air (Liu et al., 2023).

Penggunaan pupuk cair hayati juga berperan dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres abiotik dan biotik. Mikroorganisme dalam pupuk ini dapat menginduksi respon pertahanan tanaman dengan meningkatkan produksi enzim antioksidan dan senyawa fenolik, serta bersaing dengan patogen untuk ruang dan nutrisi, sehingga mengurangi infeksi penyakit (Omri et al., 2023).

Keunggulan lain dari pupuk cair hayati adalah kemampuannya untuk mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia sintetis, yang seringkali berdampak negatif terhadap lingkungan. Dengan meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi dan memperbaiki kesehatan tanah, pupuk cair hayati mendukung praktik pertanian berkelanjutan yang ramah lingkungan dan ekonomis (Bhattacharyya & Jha, 2012).

#### b) Pestisida Nabati

Produk pestisida yang berasal dari bahan nabati dan mikroba, berfungsi sebagai pengendali hama yang ramah lingkungan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Produk Pestisida Nabati

Pestisida nabati dan mikroba merupakan alternatif ramah lingkungan dalam pengendalian hama pertanian. Pestisida nabati dibuat dari ekstrak tumbuhan yang mengandung senyawa aktif seperti alkaloid, flavonoid, dan saponin, yang efektif mengendalikan berbagai hama. Contohnya,

ekstrak daun mimba (*Azadirachta indica*) dan rimpang lengkuas (*Alpinia galanga*) telah terbukti mampu menekan perkembangan penyakit hawar daun bakteri pada tanaman padi, dengan efektivitas yang sebanding atau bahkan lebih baik dibandingkan pestisida sintetis (Kadir & Dewi, 2021).

Proses pembuatan pestisida nabati melibatkan perendaman bagian tanaman yang telah dihancurkan dalam air, diikuti dengan fermentasi selama 24 jam, kemudian disaring untuk mendapatkan larutan yang siap digunakan. Penambahan bahan seperti sabun cair dapat meningkatkan daya lekat larutan pada permukaan tanaman (Sutriadi et al., 2020).

Selain itu, penggunaan mikroorganisme seperti *Bacillus subtilis* yang menghasilkan senyawa antimikroba seperti mycosubtilin telah menunjukkan potensi dalam mengendalikan patogen tanaman. Strain *B. subtilis* BBG100 yang direkayasa untuk overproduksi mycosubtilin menunjukkan peningkatan aktivitas antagonistik terhadap berbagai patogen, serta meningkatkan pertumbuhan dan ketahanan tanaman (Leclère et al., 2020). Penggunaan pestisida nabati dan mikroba tidak hanya efektif dalam mengendalikan hama, tetapi juga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, serta mendukung pertanian berkelanjutan.

### c) Pupuk berteknologi Nano

Dalam upaya meningkatkan efisiensi pemupukan dan mendukung pertanian berkelanjutan, telah dikembangkan pupuk berteknologi nano berbasis kitosan yang diperkaya dengan unsur hara makro (N, P, K) dan mikro (Zn, Fe, Mn, Cu). Pupuk ini dirancang untuk meningkatkan ketersediaan dan penyerapan nutrisi oleh tanaman, serta mengurangi kehilangan nutrisi ke lingkungan. Produk pupuk berteknologi nano dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Produk pupuk berteknologi nano

Kitosan, polisakarida alami yang diperoleh dari deasetilasi kitin, memiliki sifat biokompatibel, biodegradabel, dan non-toksik, menjadikannya bahan ideal untuk aplikasi pertanian. Dalam bentuk nanopartikel, kitosan dapat berfungsi sebagai pembawa (carrier) yang efektif untuk nutrisi, memungkinkan pelepasan nutrisi secara terkendali dan meningkatkan efisiensi pemupukan (Ali et al., 2022).

Penelitian menunjukkan bahwa aplikasi pupuk nano kitosan-NPK dapat meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Misalnya, pada tanaman gandum yang ditanam di tanah berpasir, aplikasi pupuk ini secara signifikan meningkatkan indeks panen dan produktivitas dibandingkan dengan pupuk konvensional (Abdel-Aziz et al., 2016). Selain itu, penggunaan pupuk nano kitosan juga dapat memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah, meningkatkan aktivitas mikroba tanah, dan meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi oleh tanaman (Rohmani et al., 2020).

Pupuk nano kitosan juga memiliki potensi untuk mengurangi dampak negatif penggunaan pupuk kimia sintetis terhadap lingkungan. Dengan meningkatkan efisiensi pemupukan, pupuk ini dapat mengurangi jumlah pupuk yang diperlukan, sehingga mengurangi risiko pencemaran tanah dan air akibat kelebihan nutrisi (Mirbakhsh, 2023).

Pengembangan pupuk nano kitosan yang diperkaya dengan unsur hara makro dan mikro merupakan langkah inovatif dalam mendukung pertanian berkelanjutan. Pupuk ini tidak hanya meningkatkan produktivitas tanaman, tetapi juga berkontribusi pada pelestarian lingkungan dan kesehatan tanah jangka panjang.

### d) Pupuk anti depressan

Dalam upaya meningkatkan ketahanan dan vitalitas tanaman terhadap stres lingkungan, telah dikembangkan inovasi berupa pupuk antidepresan yang mengombinasikan vitamin B1 (tiamin)

dengan unsur hara (UH) makro dan mikro. Pupuk ini dirancang untuk membantu tanaman mengatasi kondisi stres abiotik, seperti kekeringan, perubahan suhu ekstrem, atau kerusakan akar akibat pindah tanam. Produk pupuk anti depresan dapat dilihat pada Gambar 5.

Vitamin B1 dikenal berperan penting dalam metabolisme tanaman, khususnya dalam proses respirasi sel dan sintesis enzim yang berhubungan dengan ketahanan terhadap stres. Pemberian tiamin secara eksternal telah terbukti mampu meningkatkan aktivitas antioksidan tanaman dan mempercepat pemulihan jaringan setelah terpapar kondisi yang merusak (Rohmani et al., 2020). Dalam formulasi ini, vitamin B1 berfungsi sebagai stimulan fisiologis yang mendukung pertumbuhan akar dan memperbaiki sistem transportasi hara dan air.



Gambar 4. Produk pupuk anti depresan

Pupuk ini juga diperkaya dengan unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) yang penting untuk pertumbuhan vegetatif dan generatif tanaman. Selain itu, unsur mikro seperti seng (Zn), mangan (Mn), boron (B), dan molibdenum (Mo) disertakan untuk mendukung aktivitas enzimatik, pembentukan klorofil, serta meningkatkan efisiensi metabolisme tanaman secara keseluruhan.

Formulasi ini menjadikan pupuk antidepresan tidak hanya sebagai penunjang nutrisi, tetapi juga sebagai agen pemulihan dan peningkatan ketahanan tanaman terhadap berbagai kondisi tidak menguntungkan. Penggunaannya di lapangan berpotensi besar mendukung produktivitas pertanian berkelanjutan dengan mengurangi ketergantungan pada bahan kimia sintetis yang bersifat agresif terhadap lingkungan.

#### e) Pupuk Kompos

Pupuk kompos merupakan hasil dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi aerobik, menghasilkan produk yang kaya akan nutrisi dan bermanfaat bagi kesuburan tanah. Proses ini tidak hanya mengurangi volume limbah organik rumah tangga, tetapi juga menyediakan alternatif pupuk yang ramah lingkungan dan berkelanjutan (Rohmadi et al., 2022).

Bahan-bahan yang umum digunakan dalam pembuatan kompos meliputi sisa sayuran, kulit buah, daun kering, dan kotoran hewan. Penambahan bioaktivator seperti Effective Microorganisms 4 (EM4) dapat mempercepat proses dekomposisi dengan meningkatkan aktivitas mikroba pengurai (Sutrisno et al., 2020).

Langkah-langkah pembuatan kompos dimulai dengan mencacah bahan organik menjadi ukuran kecil untuk mempercepat dekomposisi. Bahan tersebut kemudian dicampur dengan larutan EM4 dan molase, lalu disusun dalam lapisan di dalam wadah kompos atau lubang tanah. Tumpukan kompos harus dijaga kelembapannya dan diaduk secara berkala untuk memastikan sirkulasi udara yang baik. Proses pengomposan biasanya memakan waktu 2 hingga 3 bulan, tergantung pada kondisi lingkungan dan bahan yang digunakan (Nurkhasanah et al., 2021).

Kompos yang matang ditandai dengan warna gelap, tekstur remah, dan aroma seperti tanah hutan. Penggunaan kompos sebagai pupuk dapat meningkatkan struktur tanah, meningkatkan kapasitas retensi air, dan menyediakan nutrisi esensial bagi tanaman, sehingga mendukung praktik pertanian berkelanjutan (Rohmadi et al., 2022). Produk pupuk kompos dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Produk kompos

Pada kegiatan pembuatan kompos, dibantu dengan mesin pencacah (Gambar 6). Mesin pencacah dimiliki oleh Untirta dan juga petani mitra di Cileles, Lebak.



Gambar 6. Kegiatan prncacahan material hayati (a) bahan yang sudah di cacah (b) dan tong penyimpanan untuk fermentasi pembuatan POC/PGPR dan pupuk organik lainnya (c)

Kegiatan menghasilkan beberapa produk pupuk organik padat, pupuk cair, PGPR, dan pestisida nabati. Analisis laboratorium menunjukkan produk sesuai dengan SNI No. 4 Tahun 2021 dari Badan Standarisasi Nasional. Mahasiswa mampu mengembangkan penelitian berbasis formulasi pupuk, seperti pengaruh POC bambu terhadap pertumbuhan bibit durian dan aplikasi PGPR bambu pada alpukat. Petani mitra menunjukkan ketertarikan dan mulai mempraktikkan sendiri formulasi dari pelatihan.

Keunggulan POC bambu terletak pada kandungan nutrisi alaminya, termasuk nitrogen, fosfor, dan kalium, serta senyawa organik lainnya yang mendukung pertumbuhan tanaman. Selain itu, POC bambu juga mengandung mikroorganisme yang bermanfaat bagi kesehatan tanah dan tanaman, sehingga dapat meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman (Hidayat, 2025). PGPR dari akar bambu merupakan kelompok bakteri yang mampu merangsang pertumbuhan tanaman melalui berbagai mekanisme, seperti fiksasi nitrogen, produksi fitohormon, dan peningkatan ketersediaan nutrisi. Penelitian yang dilakukan di Serang, Banten, menunjukkan bahwa aplikasi PGPR akar bambu dengan konsentrasi 30 ml/L dapat meningkatkan jumlah daun, luas daun, dan tingkat kehijauan daun pada bibit alpukat (*Persea americana* Mill.) secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa PGPR akar bambu dapat meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman alpukat secara efektif. Selain itu, PGPR akar bambu juga dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres abiotik dan biotik, serta memperbaiki struktur dan kesuburan tanah. Dengan demikian, aplikasi PGPR akar bambu pada tanaman alpukat tidak hanya meningkatkan pertumbuhan tanaman, tetapi juga mendukung pertanian berkelanjutan yang ramah lingkungan (Putri, 2024).

Pelatihan ini berhasil meningkatkan kesadaran lingkungan dan kemandirian petani. Selain itu, kolaborasi dengan mahasiswa memberi nilai tambah edukatif dan memperkuat integrasi Tridharma Perguruan Tinggi. Studi serupa menyatakan bahwa pelatihan agroinput organik efektif meningkatkan adopsi teknologi ramah lingkungan di masyarakat (Sipayung et al., 2023; Bahtiar et al., 2024).

## KESIMPULAN DAN SARAN

Pelatihan agroinput ramah lingkungan berbasis kolaborasi petani dan mahasiswa mampu meningkatkan pengetahuan, keterampilan, dan kemandirian dalam praktik pertanian berkelanjutan. Kegiatan ini dapat direplikasi di komunitas lain sebagai model integrasi pendidikan dan pemberdayaan masyarakat berbasis sumber daya lokal.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (Kemendikbudristek), Republik Indonesia, yang telah mendanai kegiatan ini sebagai salah satu kegiatan Kedaireka 2023.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Aziz, H. M. M., Hasaneen, M. N. A., & Omer, A. M. (2016). Nano chitosan-NPK fertilizer enhances the growth and productivity of wheat plants grown in sandy soil. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14(1).
- Ali, O., Ramsubhag, A., & Jayaraman, J. (2022). Chitosan nanoparticles (ChNPs): A versatile growth promoter in agriculture. *Heliyon*, 8(11), e11381.
- Andinovia, R. (2021). Pemberdayaan masyarakat tani melalui pelatihan pembuatan pupuk organik cair dan pestisida nabati di Desa Dawuhan, Banyumas. *Abditani: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 5(2), 76-80.
- Bahtiar, Y., Ma'arif, I. B., Afidah, N., & Nur, L. C. N. (2024). Pertanian Ramah Lingkungan Melalui Pelatihan Pembuatan Pupuk Organik Cair dari Limbah Dapur. *PRAXIS: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2(3), 104-118. <https://doi.org/10.47776/praxis.v2i3.832>
- Bhardwaj, D., Ansari, M. W., Sahoo, R. K., & Tuteja, N. (2014). Biofertilizers function as key players in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance, and crop productivity. *Microbial Cell Factories*, 13, 66.
- Bhattacharyya, P. N., & Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(4), 1327-1350.
- Budiasa, I. M., Widnyana, I. K., Ariati, P. E. P., & Suparyana, P. K. (2022). Pemberdayaan petani melalui pelatihan pembuatan pupuk organik dan pestisida nabati di Desa Tukadaya, Kecamatan Melaya Jembrana Bali. *Jurnal Aplikasi dan Inovasi Iptek*, 4(1), 1-6.
- Dewanto, F. G., Londok, J. J. M. R., Tuturoong, R. A. V., & Kaunang, W. B. (2021). Penyuluhan dan Pelatihan Agro-Entrepreneurship bagi Kelompok Tani di Desa Mengwi. *Widyamahadi: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2(2), 95-104. <https://ojs.mahadewa.ac.id/index.php/widyamahadi/article/download/1592/1207>
- Goyer, A. (2010). Thiamine in plants: Aspects of its metabolism and functions. *Phytochemistry*, 71(14-15), 1615-1624.
- Hansch, R., & Mendel, R. R. (2009). Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3), 259-266.
- Hidayat, B. R. (2025). Pengaruh dosis pupuk organik cair akar bambu dan pupuk KOHE kambing terhadap pertumbuhan batang bawah tanaman durian (*Durio zibethinus* Murr.). *EPrints Repository UNTIRTA*.
- Kadir, A., & Dewi, R. (2021). Pengaruh Pestisida Nabati dalam Menekan Perkembangan Penyakit Hawar Daun Bakteri pada Tanaman Padi. *Jurnal Penelitian Pertanian*, 20(2), 123-130.
- Kamarudin, K. R., & Yusof, Z. N. B. (2017). The role of thiamine in plants and current perspectives in crop improvement. In *Plant Micronutrients* (pp. 1-20). Springer.
- Kementerian Pertanian. (2022). Pestisida nabati sebagai alternatif bahan pengendali OPT hortikultura ramah lingkungan dan berkelanjutan. *Direktorat Jenderal Hortikultura*. <https://hortikultura.pertanian.go.id/wp-content/uploads/2022/10/6.-Pestisida-Nabati-sebagai-alternatif-bahan-pengendali-OPT-hortikultura-ramah-lingkungan-dan-berkelanjutan-web.pdfhortikultura.pertanian.go.id>

- Kumar, V., & Singh, S. (2020). Role of micronutrients in plant growth and development: A review. *Plant Archives*, 20(2), 1259–1262.
- Leclère, V., Béchet, M., Adam, A., Guez, J.-S., Wathelet, B., Ongena, M., Thonart, P., Gancel, F., Chollet-Imbert, M., & Jacques, P. (2020). Mycosubtilin Overproduction by *Bacillus subtilis* BBG100 Enhances the Organism's Antagonistic and Biocontrol Activities. *arXiv preprint arXiv:2009.10378*.
- Li, J., Forghieri, G., Geelen, D., du Jardin, P., & Brown, P. H. (2025). The optimization of crop response to climatic stress through modulation of plant stress response mechanisms: Opportunities for biostimulants and plant hormones to meet climate challenges. *arXiv preprint arXiv:2506.01714*.
- Liu, Y., Wang, Y., Zhang, Y., & Chen, X. (2023). Enhancing soil health and plant growth through microbial fertilizers. *Agronomy*, 14(3), 609.
- Mirbakhsh, M. (2023). Role of nano-fertilizer in plants nutrient use efficiency (NUE): A mini-review. *arXiv preprint arXiv:2305.14357*.
- Nurkhasanah, E., Ababil, D. C., & Prayogo, R. D. (2021). Pembuatan Pupuk Kompos dari Daun Kering. *Jurnal Bina Desa*, 3(2), 109–117.
- Omri, A., Bejaoui, M., & Jedidi, N. (2023). Liquid biofertilizers as a sustainable solution for agriculture. *Frontiers in Microbiology*, 14, 981369.
- Putri, Y. (2024). Pengaruh aplikasi Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) asal perakaran bambu dan pupuk berteknologi nano ZnO terhadap pertumbuhan bibit alpukat (*Persea americana* Mill.). *EPrints Repository UNTIRTA*.
- Rahmah, A., Izzati, M., & Parman, S. (2014). Pengaruh pupuk organik cair berbahan dasar limbah sawi putih (*Brassica chinensis* L.) terhadap pertumbuhan tanaman. *Jurnal Ilmu Pertanian*, 12(1), 45–52.
- Rohmadi, M., Septiana, N., & Astuti, P. A. P. (2022). Pembuatan Pupuk Organik Cair dan Kompos dari Limbah Organik Rumah Tangga. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(4), 880–886.
- Rohmani, A., Sutriadi, M. T., & Dinarti, S. I. (2020). Pestisida nabati: Prospek pengendali hama ramah lingkungan. *Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 8(2), 123–130.
- Sipayung, M., Sinaga, R., Sinaga, R., & Simarmata, M. (2023). Optimalisasi Sumber Daya Lokal dalam Sistem Pertanian. *Jurnal Ketahanan Sosial*, 5(1), 45–58.
- Sutriadi, M. T., Dinarti, S. I., & Rohmani, A. (2020). Pestisida Nabati: Prospek Pengendali Hama Ramah Lingkungan. *Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 8(2), 123–130.
- Sutriadi, M. T., Ismiasih, I., & Dinarti, S. I. (2020). Pestisida nabati: Prospek pengendali hama ramah lingkungan. *Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 8(2), 123–130.
- Sutrisno, E., Wardhana, I., Budihardjo, M., Hadiwidodo, M., & Silalahi, R. (2020). Pembuatan Pupuk Kompos Padat Limbah Kotoran Sapi dengan Metoda Fermentasi Menggunakan EM4 dan Starbio di Dusun Thekelan Kabupaten Semarang. *Jurnal Pasopati*, 2(1), 1–7.
- Tarigan, E. D. (2025). Pelatihan dan pemberdayaan petani dalam pengelolaan pupuk organik cair di Desa Tala Peta, Kabupaten Deli Serdang. *Jurnal Mitra Prima*, 7(1).
- Tunc-Ozdemir, M., & Miller, G. (2016). Does abiotic stress cause functional B vitamin deficiency in plants? *Plant Physiology*, 172(4), 2082–2094.
- Zhang, Y., & Blumwald, E. (2001). Transgenic salt-tolerant tomato plants accumulate salt in foliage but not in fruit. *Nature Biotechnology*, 19(8), 765–768.