

DESA BERINOVASI JAGARAGA: MENGUJITERAP PELET PUPUK NANO LEPAS LAMBAT DAN PESTISIDA ALAMI DARI GULMA

I Wayan Karya^{1,*}, I Wayan Mudianta, I Gede Putu Banu Astawa², I Gusti Ngurah Agung Suryaputra¹

¹Jurusan Kimia FMIPA UNDIKSHA;

²Jurusan Akuntansi FEB UNDIKSHA

*Email: karya@undiksha.ac.id

ABSTRACT

The ability to solve their daily problems is one of the characteristics of the empowered community farmers in the Jagaraga innovation village. Two main problems facing by the farmers are lack of plant growths because of fertilizer limitation and lack of ability in handling pests. The community service was aimed to empower community villagers in problem solving ability for facing their daily life obstacles innovatively, especially in terms of fertilizer and pest control. A learning together with community approach with 6-steps problem solving model was used in order to solve the two main problems in agriculture that is fertilizer and pest control. Two products such as slow-release nano-fertilizer pellets and weed based natural pesticide were successfully formulated and applied to three plants namely chili, eggplant and marigold. The farmers involved in these activities had some good practices to learn how to solve problems around them.

Keywords: *problem solving, slow-release nano-fertilizer, natural pesticide.*

ABSTRAK

Kemampuan menyelesaikan masalah sehari-hari adalah salah satu ciri dari keberdayaan komunitas petani di Desa Berinovasi Jagaraga. Dua masalah utama yang dihadapi oleh para petani adalah kurangnya pertumbuhan tanaman karena keterbatasan pupuk dan kurangnya kemampuan dalam menangani hama. Pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan memberdayakan masyarakat dalam kemampuan menyelesaikan masalah dalam menghadapi persoalan kehidupan sehari-hari mereka secara inovatif, terutama dalam hal pupuk dan pengendalian hama. Pendekatan pembelajaran bersama dengan model 6-langkah penyelesaian masalah digunakan untuk menyelesaikan dua masalah utama dalam pertanian, yaitu pupuk dan pengendalian hama. Dua produk yaitu pelet pupuk nano lepas-lambat dan pestisida alami berbasis gulma berhasil diformulasikan dan diterapkan pada tiga jenis tanaman yaitu cabai, terong, dan marigold. Para petani yang terlibat dalam kegiatan ini telah mengalami beberapa praktik baik untuk belajar bagaimana memecahkan masalah di sekitar mereka.

Kata kunci: *pemecahan masalah, pupuk nano lepas-lambat, pestisida alami.*

PENDAHULUAN

Salah satu desa binaan Universitas Pendidikan Ganesha yaitu Desa Jagaraga Kecamatan Sawan, Kabupaten Buleleng telah diinisiasi menjadi desa berinovasi yaitu merupakan salah satu desa technopark penerap hasil-hasil riset material maju terbarukan untuk mengoptimalkan pemanfaatan potensi desa dalam meningkatkan pendapatan asli desa dan kesejahteraan masyarakat desa (Karyasa dkk, 2024). Dalam proses inisiasi tersebut, para

petani di Desa Jagaraga utamanya petani Subak Babakan telah belajar bersama tim pengabdian dari Universitas Pendidikan Ganesha dalam mengatasi permasalahan kesuburan lahan sawah dan menurunnya produktivitas tanaman padi mereka dengan menginovasi dan mengujiterap pelet pupuk nano lepas lambat (L2-Nano) dari tahapan memformulasi pupuk organik, membuat pupuk pelet, dan menerapkannya di demplot lahan pertanian padi seperti tertera pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Belajar bersama membuat pellet pupuk L2-Nano (Karyasa dkk, 2024).



Gambar 2. Demplot ujiterap pupuk L2-Nano (Karyasa dkk., 2024)

Inisiasi desa berinovasi telah berhasil menemukan formula pupuk pelet lepas lambat yang tidak saja mampu meningkatkan ketahanan tanaman padi pada serangan biotik (hama dan penyakit) dan abiotik (angin dan hujan yang menyebabkan tanaman roboh saat sebelum panen), tetapi juga mengembalikan kesuburan tanah sawah. Keberhasilan ini masih perlu diperluas untuk tanaman-tanaman lain yang dibudidayakan oleh masyarakat desa seperti hortikultura terutama tanaman cabai, terung, dan bunga gemitir atau marigold. Ketiga

komoditas hortikultura ini diminati petani sebagai tanaman pengganti padi di saat musim kemarau. Pengalaman para petani sebelumnya dalam bercocok tanaman hortikultura sebagai tanaman sela di musim kemarau sering mengalami kegagalan yang diakibatkan oleh pertumbuhan tanaman yang lambat dan sulitnya memberantas atau mengendalikan hama dan penyakit tanaman. Sementara itu ketergantungan mereka terhadap pupuk anorganik dan pestisida kimia sangat tinggi dan harga kedua komoditas tersebut semakin mahal. Berdasarkan hasil ujiterap pupuk L2-Nano pada tanaman padi, mereka menginginkan untuk memformulasi dan mengujiterap pelet pupuk nano yang organik tersebut yang dapat tepat cocok dengan tanaman cabai, terung dan gemitir. Di samping itu, berdasarkan pengalaman mereka bercocok tanam hortikultura di lahan persawahan, tanaman cabai, terung dan gemitir sering diganggu oleh gulma yang sangat bandel seperti gulma buyung-buyung atau bandotan dan gulma kirinyu atau siem. Gulma bandotan (*Ageratum conyzoides* L) merupakan salah satu gulma yang sangat sulit untuk diberantas, namun memiliki potensi digunakan sebagai pestisida khususnya insektisida nabati seperti yang telah dilaporkan oleh Rumape dkk. (2023) yang berpotensi membasmi hama ulat *Spodoptera frugiperda*, Syahfari dkk. (2021) untuk mengendalikan hama ulat *Plutella xylostella* L dan Krisna dkk. (2022) untuk mengatasi ulat buah (*Helicoverpa armigera*). Sedangkan gulma kirinyu (*Chromolaena odorata* L) merupakan gulma yang sulit diatasi oleh para petani, namun demikian, gulma ini ternyata memiliki potensi sebagai pestisida nabati untuk mengatasi kutu putih (*Paracoccus marginatus*) seperti yang telah diteliti oleh Salamah Harahap (2022). Ekstrak daun kirinyu dipadukan dengan sabun colek dan minyak tanah ternyata efektif sebagai pengendali hama jangkrik (Fikri, 2025). Gulma kirinyu yang juga disebut sebagai gulma komba-komba telah terbukti dapat digunakan sebagai pestisida nabati seperti yang telah dilaporkan oleh Anwar

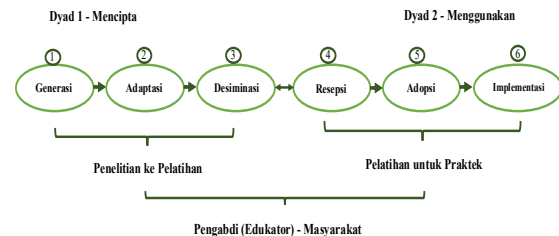
dkk. (2023). Penggunaan gulma bandotan dan kirinyu sebagai pestisida alami tidak saja bermanfaat mengurangi ketergantungan pada pestisida kimiawi, tetapi juga sekaligus mengendalikan gulma tersebut secara berkelanjutan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, pembelajaran masyarakat berinovasi di Desa Jagaraga ditujukan untuk meningkatkan kemampuan memecahkan masalah di sekitar para petani yaitu produksi dan penerapan pellet pupuk nano lepas-lambat dan pestisida alami berbasis gulma untuk meningkatkan pertumbuhan dan mengontrol hama dan penyakit dari tanaman hortikultura cabai, terung dan marigold.

METODE

Pendekatan yang digunakan dalam program pengabdian kepada masyarakat ini adalah pendekatan partisipatori dengan Konsep Belajar Bersama (Karyasa, 2018). Metode yang diterapkan dalam pemberdayaan masyarakat ini

adalah metode pemecahan masalah strategis (strategic problem solving) dengan menggunakan model 6-langkah pemecahan masalah bersama masyarakat dengan mengadopsi model 6-langkah dari Yeargin et al. (2021) seperti tertera pada Gambar 3.



Gambar 3. Model 6-langkah pemecahan masalah.

Model 6-langkah pemecahan masalah dari Yeargin et al. (2021) dimodifikasi deskripsinya dan disesuaikan dengan karakteristik masyarakat petani yang belajar berinovasi dalam pertanian berkelanjutan dengan adalah pendekatan partisipatori dengan Konsep Belajar Bersama (Karyasa, 2018) Tahapam kegiatan yang telah dilaksanakan untuk mencapai tujuan tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tahapan Pelaksanaan Kegiatan

No.	Tahapan Kegiatan	Deskripsi	Hasil yang diharapkan	Pihak yang Terlibat
1	Generasi	Proses secara bersama-sama mengumpulkan, memahami, dan mengevaluasi data serta informasi yang terutama berasal dari studi empiris.	Konsep/pengetahuan dan strategi pembuatan pupuk nano lepas-lambat berbentuk pelet dari bahan-bahan organik yang ramah lingkungan dan pestisida alami berbasis gulma bandotan dan kirinyu.	Petani, Kelihan Subak dan tim pelaksana pengabdian
2	Adaptasi	Proses menerjemahkan pengetahuan menjadi pesan praktik yang dapat digunakan untuk memberi informasi tentang program pelatihan.	Panduan teknologi tepat guna pembuatan pembuatan pupuk nano lepas-lambat berbentuk pelet dari bahan-bahan organik yang ramah lingkungan dan pestisida alami berbasis gulma bandotan dan kirinyu.	Petani, Kelihan Subak dan tim pelaksana pengabdian serta mahasiswa
3	Desiminasi	Proses perencanaan cara penyampaian yang digunakan untuk mengkomunikasikan pengetahuan yang telah	Rencana pelatihan beserta alat-alat dan bahan-bahan untuk simulasi sehingga transfer pengetahuan menjadi lebih efektif	Petani, Kelihan Subak dan tim pelaksana

		disesuaikan kepada pelaksana pengetahuan.		
4	Resepsi	Proses dan reaksi kontak pertama masyarakat petani dengan pengetahuan pupuk nano lepas-lambat dan pestisida alami berbasis gulma	Peningkatan pengetahuan masyarakat dan motivasi serta komitmen untuk demplot pembuatan dan pengujiterapan pupuk nano lepas-lambat dan pestisida alami berbasis gulma	Tim pelaksana, mahasiswa, kepala desa, 10 peserta perwakilan Subak Babakan dan Subak Lanyahan.
5	Adopsi	Proses evaluasi kognitif terhadap pengetahuan baru untuk menentukan apakah masyarakat petani akan menerapkan pengetahuan pupuk nano lepas-lambat dan pestisida alami berbasis gulma.	Rencana implementasi pembuatan dan pengujiterapan pupuk nano lepas-lambat dan pestisida alami berbasis gulma pada demplot tanaman cabai, terong dan gemitir.	Tim pelaksana, mahasiswa, kepala desa, 10 peserta perwakilan Subak Babakan dan Subak Lanyahan.
6	Implementasi	Proses menerapkan pengetahuan ke dalam praktik dan mengatasi kendala lingkungan dalam praktik tersebut.	Demplot pembuatan dan demplot pengujiterapan pupuk nano lepas-lambat dan pestisida alami berbasis gulma pada demplot tanaman cabai, terong dan gemitir	Tim pelaksana, mahasiswa, kepala desa, 10 peserta perwakilan Subak Babakan dan Subak Lanyahan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan pellet pupuk nano lepas-lambat untuk tanaman cabai, terong dan gemitir.

Berdasarkan pengetahuan para petani tentang produksi dan penggunaan pupuk kompos dan perbandingannya dengan pupuk anorganik serta berdasarkan pengalaman, pengetahuan dan motivasi dari pembelajaran berinovasi mengatasi masalah pertanian padi melalui produksi dan ujiterap pupuk nano lepas-lambat (L2-Nano) pada tahun sebelumnya (Karyasa dkk., 2024), tanaman hortikultura seperti cabai, terong dan gemitir atau marigold yang ditanam pada lahan persawahan yang dikeringkan.

Komposisi formula pellet pupuk L2-Nano yang disepakati untuk dibuat adalah pupuk komposisi A, B, C, dan D sebagai berikut. Komposisi pelet pupuk L2-Nano A adalah pupuk organik padat 30 kg, sekam hitam giling (nanokomposit silika-karbon) 10 kg, pupuk organik cair EM4 1 liter, nano-silika dari abu sekam padi 0,1 kg, nano kalsium fosfat dari

limbah tulang sapi 0, 1 kg, campuran nanopartikel MgO, ZnO dan CuO 0,006 kg. Komposisi pelet pupuk L2-Nano B adalah pupuk organik padat 30 kg, sekam hitam giling (nanokomposit silika-karbon) 10 kg, pupuk organik cair EM4 1 liter, nano-silika dari abu sekam padi 0,3 kg, nano kalsium fosfat dari limbah tulang sapi 0,3 kg, campuran nanopartikel MgO, ZnO dan CuO 0,006 kg. Komposisi pelet pupuk L2-Nano C adalah pupuk organik padat 30 kg, sekam hitam giling (nanokomposit silika-karbon) 10 kg, pupuk organik cair EM4 1 liter, nano-silika dari abu sekam padi 0,3 kg, nano kalsium fosfat dari limbah tulang sapi 0,3 kg, campuran nanopartikel MgO, ZnO dan CuO 0,012 kg. Sedangkan Komposisi pelet pupuk L2-Nano D adalah pupuk organik padat 30 kg, sekam hitam giling (nanokomposit silika-karbon) 10 kg, pupuk organik cair EM4 1 liter, nano-silika dari abu sekam padi 0,1 kg, nano kalsium fosfat dari limbah tulang sapi 0,1 kg, campuran nanopartikel MgO, ZnO dan CuO 0,012 kg. Keempat komposisi ini menggunakan lebih

banyak pupuk kompos padat karena pupuk kompos menyediakan nutrisi dan mikroorganisme yang memegang peran penting dalam penyerapan unsur-unsur hara dari dalam tanah sehingga pupuk kompos tidak saja mampu sebagai agen pembenah tanah sawah tetapi sebagai penyangga pertanian secara berkelanjutan (Omar et al., 2021 dan Phares & Akaba, 2022). Penambahan nanokomposit silika-karbon yang terbuat dari biochar atau abu sekam hitam dapat membantu mengontrol dan memperlambat pelepasan unsur-unsur nitrogen dan fosfor dari dalam tanah yang telah dipupuk sehingga kehilangan unsur-unsur hara tersebut dapat diminimalisasi (Wang et al., 2022; Firmada et al., 2022; Gamage et al., 2021; Dong et al., 2020). Nanosilika berperan sebagai penghasil ion-ion silanol (SiO_4^{4-}) yang terlarut dalam air dan mudah diserap oleh akar tanaman dan berfungsi sebagai agen pemulih stress biotik dan abiotik (Mathur et al., 2020; Rajiv et al., 2020). Nanokalsium fosfat berperan sebagai sumber ion-ion kalsium dan ion fosfat bebas yang berperan sebagai makronutrisi unsur hara P dan Ca (Tiwari et al., 2022) dan dapat berperan sebagai pengembali kesuburan tanah dan pengelolaan stress tanaman (Sharma et al., 2023). MgO-NPs sangat berperan dalam menanggulangi atau menghambat masuk dan terakumulasinya arsenik pada tanaman padi serta mengurangi dampak stress oksidatif yang diakibatkan oleh masuknya unsur toksik arsenik tersebut (Ahmed et al., 2021). Nanopartikel MgO berperan dalam menyeimbangkan salinitas (Song et al., 2023) dan bersama-sama dengan seng oksida dalam membantu perkecambahan benih padi (Mehmood et al., 2024). Nanopartikel ZnO berperan meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil karena ion Zn^{+2} sangat berperan sebagai kofaktor dari bekerjanya berbagai enzim dalam metabolisme sel-sel tanaman (Zang et al., 2021; Yang et al., 2021). sehat bermanfaat berkelanjutan.

Pembuatan pestisida alami berbasis gulma

Berdasarkan pengetahuan terkait pestisida alami berbasis gulma bandotan dan kirinyu

diperlukan tambahan beberapa komponen agar dapat berfungsi lebih luas jangkauannya atau lebih banyak jenis hama dan penyakit dapat dibasmi dan atau dikendalikan sehingga memerlukan tumbuhan atau komponen tumbuhan lainnya yang ada melimpah di Desa Jagaraga seperti tanaman pagar sungenge atau tanaman bunga matahari liar atau sungenge atau senggani (*Melastoma malabathricum* L.) dan biji nimba (*Azadirachta indica*). Ekstrak daun dan batang sungenge, selain efektif sebagai pestisida, juga digunakan sebagai anti-bakteri (Shah, 2024; Wiraswati et al., 2024). Tanaman nimba dari daun, batang, akar hingga bijinya mengandung senyawa bioaktif yang dapat digunakan sebagai pestisida alami (Barbhuiya et al., 2024) dan bahkan efektif menggantikan pestisida sintetik (Barbhuiya et al., 2024). Penambahan nano-biostimulan pada pestisida alami diperlukan untuk mempercepat pemulihan dan pertumbuhan tanaman paska diserang hama dan penyakit. Nano-biostimulan yang dapat digunakan disemprotkan pada tanaman (foliar) diantaranya adalah nano-silika atau nano silikon (Al-Assfar & Al-Juthery, 2025), nano boron (Abdelwahed et al., 2024), nanopartikel ZnO (Missaoui et al., 2024). Berdasarkan pemahaman tersebut, disepakati bersama masyarakat untuk memformulasikan pestisida alami yang diintegrasikan dengan nano bio-stimulan yang terbuat dari hasil marserasi bubuk kering gulma bandotan (20%), gulma kirinyu (20%), gulma senggani atau sungenge (20%) dan bubuk biji nimba (20%) yang dipadukan dengan nano bio-stimulan (20%) dari nanopartikel boron oksida (B_2O_3), magnesium oksida (MgO) dan seng oksida (ZnO) dalam bentuk cairan yang diaplikasikan sebagai semprotan foliar.

Hasil penerapan dan pendampingan teknologi pupuk L2-Nano dan pestisida alami berbasis gulma

Pemberian pelet pupuk L2-Nano A, B, C, D dan kontrol (pupuk konvensional) dilakukan pada saat akan penanaman bibit tanaman cabai, terong dan marigold pada demplot yang berisi masing-

masing 30 tanaman per jenis tanaan untuk tiap kelompok perlakuan A, B, C dan D dan kelompok kontrol. Pada usia 21 HST (hari setelah tanam) semua tanaman pada demplot disemprot dnegan pestisida alami terintegrasi bio-stimulan dengan dosis 10 mL per Liter air bersih yang disemprotkan merata pada tanaman. Foto-foto kegiatan disajikan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Penanaman cabai, terong dan marigold di demplot Subak Lanyahan.



Gambar 5. Penanaman cabai, terong dan marigold di demplot Subak Lanyahan.

Perbandingan hasil pengukuran NPK tanah dari tempat tumbuhnya tanaman cabai, terong dan marigold disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan NPK dan konduktivitas tanah tempat tumbuh tanaman 21 HST

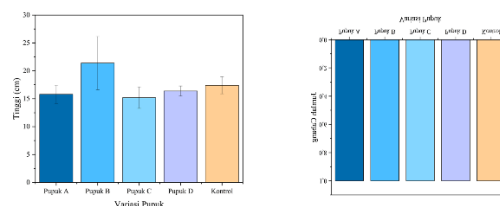
GUMITIR	N (mg/kg)		P (mg/kg)		K (mg/kg)		Konduktivitas (uS/cm)	
	Rata-rata	STDEV.S	Rata-rata	STDEV.S	Rata-rata	STDEV.S	Rata-rata	STDEV.S
Kontrol	28.4	7.80	41.2	10.96	80.8	15.74	376.2	117.50
Pupuk A	37.8	10.62	53.4	14.88	106.8	29.75	545.6	140.65
Pupuk B	36.4	10.09	52.4	13.45	103	27.83	512.2	143.46
Pupuk C	30.6	6.23	42.6	9.71	86.4	17.92	438	87.61
Pupuk D	28.8	1.10	41.8	4.21	82	4.85	409.4	56.37

CABAI	N (mg/kg)		P (mg/kg)		K (mg/kg)		Konduktivitas (uS/cm)	
	Rata-rata	STDEV.S	Rata-rata	STDEV.S	Rata-rata	STDEV.S	Rata-rata	STDEV.S
Kontrol	28.4	7.64	39.6	11.24	81.00	21.35	415.80	105.13
Pupuk A	33.8	12.58	48.4	17.46	97.60	35.14	483.20	172.74
Pupuk B	33.4	4.45	47.8	6.26	93.40	13.69	468.80	70.48
Pupuk C	40.6	12.16	57.6	16.70	117.40	32.75	574.60	173.74
Pupuk D	43.6	8.32	62	11.75	124.20	23.20	622.20	114.27

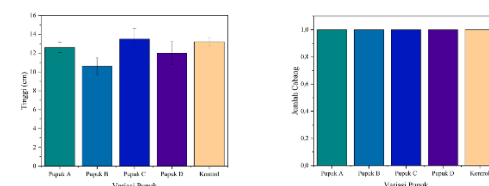
TERONG	N (mg/kg)		P (mg/kg)		K (mg/kg)		Konduktivitas (uS/cm)	
	Rata-rata	STDEV.S	Rata-rata	STDEV.S	Rata-rata	STDEV.S	Rata-rata	STDEV.S
Kontrol	34.8	12.48	49.8	17.31	100.00	33.07	487.20	170.84
Pupuk A	28	4.80	39.6	6.47	79.60	13.41	404.60	65.31
Pupuk B	31.4	12.93	44	17.61	88.40	35.49	445.00	176.68
Pupuk C	32.6	13.94	46	19.66	92.80	39.15	423.80	104.88
Pupuk D	38.4	10.16	54.4	13.87	107.20	27.56	548.60	138.88

Berdasarkan data tabel 2 terlihat bahwa kondisi tanah tempat tumbuhnya tanaman ntuk semua kelompok pada semua tanaman pada 21 HST kelompok perlakuan relative lebih baik dari kelompok kontrol. Hal ini berkaitan dengan perbandingan data pertumbuhan tanaman cabai, terong dan gumitir dilihat dari tinggi dan jumlah

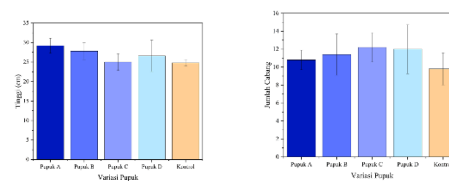
cabang tanaman pada usia 21 HST seperti pada Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 6. Tinggi dan jumlah cabang tanaman cabai 21 HST



Gambar 7. Tinggi dan jumlah cabang tanaman terong 21 HST



Gambar 7. Tinggi dan jumlah cabang tanaman marigold 21 HST

Pada tanaman cabai dan terong, tinggi tanaman 21 HST kelompok perlakuan ada yang lebih baik dari kelompok kontrol, sedangkan jumlah cabang masih sama anatar kelompok perlakuan dan kontrol. Sedangkan pada tanaman marigold tinggi tanaman dan jumlah cabang kelompok perlakuan ada yang lebih baik dari kelompok kontrol. Pengamatan perlu dilanjutkan pada usia-usia tanaman pertumbuhan selanjutnya hingga panen tiba untuk menentukan hasil panen terbaiknya. Berdasarkan pengalaman mengamati pertumbuhan dan panen nantinya, para petani yang terlibat dapat memiliki pemahaman, pengetahuan dan keterampilan dalam memecahkan masalah-masalah pertanian yang mereka geluti sehingga kemampuan pemecahan masalah ini sangat berguna dalam kehidupan mereka maupun dalam pertanian berkelanjutan.

SIMPULAN

Masyarakat Desa Jagaraga, khususnya para petani telah belajar meningkatkan kemampuan memecahkan masalah dengan belajar berinovasi bersama. Dua contoh pemecahan masalah berupa pelet pupuk L2-Nano dan pestisida alami terpadu dengan nano-biostimulan menjadi salah satu pemicu mereka untuk selalu berusaha berinovasi dalam menjamin peningkatan kesejahteraan melalui pertanian berkelanjutan. Model 6-langkah pemecahan masalah dalam bidang pertanian hortikultura ini dapat direfleksikan pada bidang-bidang kehidupan lainnya.

UCAPAN ERIMA KASIH

Ucapan terima kasih dan penghargaan disampaikan kepada LPPM Universitas Pendidikan Ganesha atas hibah kompetitif program pengabdian kepada masyarakat skema Desa Binaan tahun 2025, Ucapan terima kasih juga ditujukan Kepala Desa/Perbekel Desa Jagaraga dan Ketua Bumdes Jagaraga selaku mitra kegiatan serta PB. Suwela Amertha, Subak Lanyahan dan Subak Babakan Jagaraga selaku mitra sasaran atas kerjasama kemitraan yang sangat baik.

DAFTAR RUJUKAN

Abdelwahed, S. M., Farag, M. E., & Radwan, H. B. (2023) Impact of Foliar Application of Nano-Calcium and Nano-Boron on Pomegranate Yield and Fruit Quality. *Nanotechnology*, 6, 14.

Ahmed T, Noman M, Manzoor N, Shahid M, Hussaini KM, Rizwan M, Ali S, Maqsood A, Li B. (2021) Green magnesium oxide nanoparticles-based modulation of cellular oxidative repair mechanisms to reduce arsenic uptake and translocation in rice (*Oryza sativa* L.) plants. *Environmental pollution*. 288:117785.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117785>

Al-Assfar, H. S., & Al-Juthery, H. W. A. (2025, April). Effect of Nano Silicon, EM. Bokashi Fertilizers and Spraying Some Biostimulants on Quality Criteria Cauliflower Flowers. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1487, No. 1, p. 012179). IOP Publishing.

Barbhuiya, R. I., Wroblewski, C., Elsayed, A., Subramanian, J., Kaur, G., Routray, W., & Singh, A. (2024). Development and physicochemical characterization of Azadirachta indica seed oil loaded niosomes nanoparticles: A potential natural pesticide. *Chemical Engineering Research and Design*, 203, 197-206.
<https://doi.org/10.1016/j.cherd.2024.01.047>

Dong D, Wang C, Van Zwieten L, Wang H, Jiang P, Zhou M, Wu W. (2020). An effective biochar-based slow-release fertilizer for reducing nitrogen loss in paddy fields. *Journal of Soils and Sediments*. 20:3027-3040.
<https://doi.org/10.1007/s11368-019-02401-8>

Fikri, A. (2025). Pembuatan pestisida nabati dari daun kirinyuh (*Chromolaena odorata*) sebagai active ingredients dengan menggunakan sabun colek dan minyak tanah. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 5(2), 191-199.
<https://doi.org/10.29103/cejs.v5i2.20605>

Firmanda A, Fahma F, Syamsu K, Suryanegara L, Wood K. (2022) Controlled/slow-release fertilizer based on cellulose composite and its impact on sustainable agriculture. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 16(6):1909-1930.
<https://doi.org/10.1002/bbb.2433>

- Gamage A, Basnayake B, De Costa J, Merah O. 2021. Effects of rice husk biochar coated urea and anaerobically digested rice straw compost on the soil fertility, and cyclic effect of phosphorus. *Plants*. 11(1):75. <https://doi.org/10.3390/plants11010075>
- Karyasa I.W., Widana G. A. B., Astawa I P. G. B., Mudianta I W. (2024). Inisiasi Desa Jagaraga sebagai Desa Technopark Penerap Iptek Material Maju Hijau. In *Prosiding Senadimas ke-9. Universitas Pendidikan Ganesha*. 1590-1598. <https://eproceeding.undiksha.ac.id/index.php/SENADIMAS/article/view/649/363>
- Karyasa I.W., Widana G. A. B., Astawa I P. G. B., Mudianta I W. (2024). Learning Innovation Together with Community: Inventing and Commercializing Slow-Release Organic Nano Fertilizer Pellets for Healthy and Sustainable Rice Agriculture. *Indonesian Journal of Community Engagement*. 10(4): 215-221. <http://doi.org/10.22146/jpkm.100798>
- Karyasa, I W. (2018). Belajar Di Masyarakat: Sebuah Konsep Dalam Meningkatkan Mutu Pengabdian Kepada Masyarakat. *Prosiding SENADIMAS Ke-3*, 874-879.
- Krisna, K. N. P., Yusnaeni, Y., Lika, A. G., & Sudirman, S. (2022). Uji Efektivitas Ekstrak Daun Bandotan (*Ageratum conyzoides*) sebagai Biopestisida Hama Ulat Buah (*Helicoverpa armigera*). *EduBiologia: Biological Science and Education Journal*, 2(1), 35-40. <http://dx.doi.org/10.30998/edubiologia.v2i1.10541>
- Mathur P, Roy S. 2020. Nanosilica facilitates silica uptake, growth and stress tolerance in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 157:114-27. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.10.011>
- Mehmood S, Kumar N, Mansoori A, Mohan M, Kumar A, Ghorai TK. (2024) Effect of ZnMgO 2 nanoparticles used as a nanofertilizer: promoting the growth activities of rice seedlings. *Environmental Science: Nano*. In press. <https://doi.org/10.1039/D3EN00770G>
- Missaoui, T., Boughdiri, N., Chemingui, H., Al Sobeai, S. M., & Smiri, M. (2024). Growth and metabolism of pea (*Pisum sativum*) via biostimulants based on greener ZnO nanoparticles. *International Journal of Phytoremediation*, 26(5), 764-772.
- Omar L, Ahmed OH, Boyie Jalloh M, Abdul Majid NM. (2021) Rice husk compost production and use in mitigating ammonia volatilization from urea. *Sustainability*. 13(4):1832. <https://doi.org/10.3390/su13041832>
- Phares CA, Akaba S. (2022) Co-application of compost or inorganic NPK fertilizer with biochar influences soil quality, grain yield and net income of rice. *Journal of Integrative Agriculture*. 21(12):3600-10. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.07.041>
- Rajiv P, Chen X, Li H, Rehaman S, Vanathi P, Abd-Elsalam KA, Li X. (2020) Silica-based nanosystems: Their role in sustainable agriculture. In *Multifunctional Hybrid Nanomaterials for Sustainable Agri-Food and Ecosystems*. 437-459. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821354-4.00018-2>

- Rumape, O., Ischak, N. I., & Ishak, S. A. (2023). Toksisitas ekstrak daun bandotan (*ageratum conyzoides* L.) sebagai insektisida nabati terhadap mortalitas hama ulat *Spodoptera frugiperda*. *Jambura Journal of Chemistry*, 5(1), 31-45.
<https://doi.org/10.34312/jambchem.v5i1.19584>
- Safir, A., Iqbal, A., Muhammad, A., & Islam, F. (2024). Formulation and Testing of Azadirachtin Indica Based Bio pesticide and its comparative effectiveness in Replacing Synthetic Pesticide. *The Sciencetech*, 5(4), 75-85.
- Salamah Harahap, N. (2022). Pengaruh ekstrak kirinyu (*Chromolaena odorata* L) terhadap kutu putih (*Paracoccus marginatus*) tanaman pepaya (*Carica papaya* L) (Doctoral dissertation, Universitas Mahaputra Muhammad Yamin).
- Shah, M. (2024). Antibacterial effect of *Melastoma malabathricum* leaves extract against locally isolated bovine mastitis pathogens. *Food Research*, 8(3), 13-24.
[https://doi.org/10.26656/fr.2017.8\(S3\).2](https://doi.org/10.26656/fr.2017.8(S3).2)
- Sharifuddin J, Mohammed ZA, Ramli NN, Farmata Y. (2020) Green Revolution's Role and Impact: Organic Farming Potential for Indonesian Sustainable Agriculture. In *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, Indonesian Center for Agricultural Socioeconomic and Policy Studies. 37 (2):115-125.
<https://doi.org/10.21082/fae.v37n2.2019.115-125>
- Sharma P, Sangwan S, Mehta S. (2023) Emerging role of phosphate nanoparticles in agriculture practices. In *Engineered Nanomaterials for Sustainable Agricultural Production*, Soil Improvement and Stress Management. 71-97.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91933-3.00008-8>
- Sohail MI, Rehman MZ, Murtaza G, Wahid MA. (2019) Chemical investigations of Si-rich organic and inorganic amendments and correlation analysis between different chemical composition and Si contents in amendments. *Arabian Journal of Geosciences*. 2019 Jan;12:1-4. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-4215-x>
- Song Y, Zheng C, Li S, Chen J, Jiang M. (2023) Chitosan-magnesium oxide nanoparticles improve salinity tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). *ACS Applied Materials & Interfaces*. 15(17):20649-20660.
<https://doi.org/10.1021/acsami.3c00043>
- Souri Z, Khanna K, Karimi N, Ahmad P. (2021) Silicon and plants: current knowledge and future prospects. *Journal of Plant Growth Regulation*. 40:906-25.
<https://doi.org/10.1007/s00344-020-10172-7>
- Syahfari, H., Oktaviani, S. R., & Sutejo, H. (2021). Uji efikasi ekstrak bandotan (*Ageratum conyzoides* L.) Terhadap frekuensi dan intensitas serangan hama ulat *Plutella xylostella* L. Pada tanaman lobak (*Rhapanus sativus* L.). *Ziraa'ah Majalah Ilmiah Pertanian*, 46(1), 70-77.
- Tiwari K, Kumar YO, Singh TA, Nayak R. (2022) Nano technology-based P fertilizers for higher efficiency and agriculture sustainability. *Annals of Plant and Soil Research*. 24(2):198-207.
<https://doi.org/10.47815/apsr.2022.10149>
- Wang C, Luo D, Zhang X, Huang R, Cao Y, Liu G, Zhang Y, Wang H. (2022) Biochar-

based slow-release of fertilizers for sustainable agriculture: A mini review. *Environmental Science and Ecotechnology*. 10:100167. <https://doi.org/10.1016/j.esec.2022.100167>

Wiraswati, H. L., Pradini, G. W., Fauziah, N., Laelalugina, A., Arimdayu, A. R., Supandi, S., ... & Ma'ruf, I. F. (2024). Biological potential of eight medicinal plants collected in the restored landscape after mining in South Kalimantan. *Discover Applied Sciences*, 6(6), 308. <https://doi.org/10.1007/s42452-024-05824-2>

Yang G, Yuan H, Ji H, Liu H, Zhang Y, Wang G, Chen L, Guo Z. (2021) Effect of ZnO nanoparticles on the productivity, Zn biofortification, and nutritional quality

of rice in a life cycle study. *Plant Physiology and Biochemistry*. 163:87-94.

<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.053>

Yeargin, T. A., Gibson, K. E., & Fraser, A. M. (2021). New approach to food safety training: A review of a six-step knowledge-sharing model. *Journal of Food Protection*, 84(11), 1852-1862. <https://doi.org/10.4315/JFP-21-146>

Zhang H, Wang R, Chen Z, Cui P, Lu H, Yang Y, Zhang H. (2021) The effect of zinc oxide nanoparticles for enhancing rice (*Oryza sativa* L.) yield and quality. *Agriculture*. 11(12):1247. <https://doi.org/10.3390/agriculture11121247>