

Residu Pestisida pada Tanah dan Kotoran Cacing di Lahan Pertanian Sayur Kecamatan Baturiti, Kabupaten Tabanan

Pesticide Residues in Soil and Worm Feces on Vegetable Farms in Baturiti District, Tabanan Regency

I Gusti Ngurah Made Prabhaswara*, Ni Luh Kartini, Anak Agung Istri Kesumadewi

Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Udayana, Badung, Bali, Indonesia,

*email: prabhaswara11@gmail.com

Abstrak

Pertanian konvensional identik dengan penggunaan agrokimia untuk meningkatkan produksi, namun intensitas pestisida dapat menekan populasi organisme tanah seperti cacing tanah. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi residu pestisida pada tanah dan kotoran cacing di lahan sayur organik dan konvensional di Kecamatan Baturiti, Kabupaten Tabanan, serta menganalisis korelasi sifat tanah dan karakteristik kotoran cacing terhadap residu pestisida. Sampel diambil dengan metode *purposive sampling* dan minipit ($0,5 \times 0,5$ m), lalu dianalisis menggunakan *Gas Chromatography* untuk mendeteksi Klorpirifos dan Profenofos. Lahan sayur organik adalah lahan sayur yang tidak menggunakan bahan kimia dan telah tersertifikasi. Parameter tanah meliputi tekstur, berat volume, kadar air, pH, dan C-organik. Hasil menunjukkan residu yang terdeteksi hanya berasal dari Klorpirifos, yakni pada tanah Candikuning (0,1307 ppm) dan kotoran cacing Titigalar (0,0768 ppm), sementara Profenofos tidak terdeteksi. Tekstur tanah didominasi fraksi pasir dengan berat volume rendah ($1,080-1,285$ g/cm³), kadar air 4,585–5,932%, pH 5,9–6,5, dan C-organik 2,332–3,013%. Residu Klorpirifos berkorelasi negatif sangat kuat dengan fraksi liat ($r = -0,89$) dan positif kuat dengan fraksi debu ($r = 0,72$). Residu pestisida klorpirifos terdeteksi pada tanah dan kotoran cacing di lahan pertanian sayur konvensional, dengan akumulasinya dipengaruhi oleh sifat fisik tanah, terutama fraksi debu dan liat. Temuan ini menegaskan pentingnya pengelolaan pestisida secara bijak untuk menjaga kesehatan tanah dan keberlanjutan organisme tanah.

Kata kunci: *Klorpirifos, residu pestisida, tanah, korelasi*

Abstract

Conventional agriculture is synonymous with the use of agrochemicals to increase production, but the intensity of pesticides can suppress the population of soil organisms such as epigeic earthworms. This study aims to identify pesticide residues in soil and worm castings in organic and conventional vegetable fields in Baturiti District, Tabanan Regency, and analyze the correlation of soil properties and worm castings characteristics to pesticide residues. Samples were taken by purposive sampling method and minipit (0.5×0.5 m), then analyzed using High-Performance Liquid Chromatography HPLC and Gas Chromatography to detect Chlorpyrifos and Profenofos. Soil parameters included texture, volume weight, moisture content, pH, and C-organic. Results showed that only chlorpyrifos residues were detected in Candikuning soil (0.1307 ppm) and Titigalar worm castings (0.0768 ppm), while Profenofos was not detected. The soil texture was dominated by sand fraction with low volume weight ($1.080-1.285$ g/cm³), moisture content of 4.585-5.932%, pH of 5.9-6.5, and C-organic 2.332-3.013%. Chlorpyrifos residues were strongly negatively correlated with the clay fraction ($r = -0.89$) and strongly positively with the dust fraction ($r = 0.72$). These findings emphasize the importance of wise pesticide management to maintain soil health and the sustainability of soil organisms.

Keywords: *Chlorpyrifos, pesticide residues, soil, correlation*

PENDAHULUAN

Pertanian konvensional erat kaitannya dengan penggunaan agrokimia seperti pupuk dan pestisida untuk meningkatkan produktivitas lahan dan hasil panen (Werdhyastuti et al., 2018). Pestisida golongan organofosfat merupakan jenis yang umum digunakan saat ini, menggantikan organoklorin yang telah

dilarang karena bersifat persisten dan toksik bagi manusia serta lingkungan. Meskipun organofosfat memiliki waktu paruh yang relatif singkat (1–28 hari), penggunaannya yang intensif dan berulang tetap berpotensi menimbulkan dampak ekologis dalam jangka panjang (Supriyanto et al., 2021).

Salah satu organisme tanah yang terdampak oleh residu pestisida adalah cacing tanah. Organisme ini memainkan peran penting dalam menjaga kesuburan dan struktur tanah, memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah, serta mendukung dinamika mikroba melalui aktivitas makan dan penggalian tanah (Anjani et al., 2022; Purba et al., 2022; Tiwari et al., 2016). Kehadiran pestisida di tanah dapat menekan populasi dan aktivitas cacing tanah, khususnya spesies epigeik yang sensitif terhadap kontaminasi kimia (Mayasari et al., 2019; Pelosi et al., 2014). Hal ini terbukti dari penelitian di Candikuning, Bedugul, Bali, yang menunjukkan penurunan populasi cacing tanah akibat penggunaan pestisida kimia

Selain pestisida, kondisi lingkungan seperti pH, tekstur tanah, kelembaban, dan kandungan bahan organik juga sangat memengaruhi aktivitas dan kelimpahan cacing tanah (Dwiastuti & Sajidan, 2014; Imaniar et al., 2023; Joshi et al., 2010). Cacing tanah memiliki kemampuan untuk mengubah bahan organik menjadi kotoran yang kaya akan nitrogen, fosfor, dan kalium, tetapi dalam proses ini mereka juga dapat menyerap atau mengakumulasi residu pestisida dari tanah (Melati, 2020). Oleh karena itu, penting untuk menganalisis perbedaan konsentrasi residu pestisida antara tanah dan kotoran cacing untuk memahami dinamika kontaminasi serta aliran pestisida dalam ekosistem tanah.

Sayangnya, kajian mengenai keberadaan residu pestisida pada lahan pertanian di Bali, baik yang dikelola secara konvensional maupun organik, masih terbatas. Padahal sejak revolusi hijau, penggunaan pestisida sintetis telah meluas, khususnya di kawasan hortikultura dataran tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keberadaan residu pestisida pada tanah dan kotoran cacing tanah di lahan pertanian sayur organik dan konvensional di Kecamatan Baturiti, Kabupaten Tabanan. Selain itu, penelitian ini juga menganalisis karakteristik fisik dan kimia tanah serta korelasinya terhadap residu pestisida, guna memberikan gambaran menyeluruh tentang keterkaitan antara penggunaan pestisida, kualitas tanah, dan peran cacing tanah sebagai indikator biologis.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan April – Agustus 2024 di Kecamatan Baturiti, Kabupaten Tabanan. Analisis tanah dilaksanakan di Laboratorium Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Udayana dan di Balai Pengujian Standar Instrumen Lingkungan Pertanian, Pati, Jawa Tengah.

Alat dan Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi sampel tanah dan kotoran cacing dari lahan pertanian di Desa Candikuning, Desa Titigalar, dan Desa Batunya, serta bahan kimia untuk analisis laboratorium seperti aquades, Calgon 5%, hidrogen peroksida 30%, kalium bikromat, asam sulfat, asam fosfat, DPA, ferro sulfat, dan reagen untuk uji residu pestisida. Alat yang digunakan mencakup sekop, ring sampel, oven, plastik bening, kertas label, ayakan 2 mm, botol sampel, sarung tangan, baki plastik, meteran, serta perlengkapan laboratorium seperti tabung reaksi, pH meter, beaker glass, pipet, erlenmeyer, timbangan, buret, mixer, gelas ukur, kompor, ayakan tekstur, dan peralatan untuk analisis residu pestisida.

Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan melalui survei lapangan dengan metode eksplorasi, observasi, dan wawancara secara *purposive* pada dua jenis lahan hortikultura di Kecamatan Baturiti, yaitu lahan organik bersertifikat di Desa Batunya serta lahan konvensional di Desa Titigalar dan Desa Candi Kuning. Sampel tanah diambil menggunakan metode *minipit* berukuran $0,5 \times 0,5$ meter hingga kedalaman 30 cm, dengan titik pengambilan secara diagonal dan dikomposit, sementara sampel kotoran cacing diperoleh melalui metode *handsorting* di beberapa titik pada lokasi penelitian. Semua sampel dikeringanginkan sebelum dianalisis. Analisis laboratorium dilakukan di Laboratorium Tanah Fakultas Pertanian Universitas Udayana untuk menguji parameters sifat tanah, sedangkan uji residu pestisida dilakukan di Balai Pengujian Standar Instrumen Lingkungan Pertanian, Pati, Jawa Tengah menggunakan metode *Gas Chromatography* (GC) untuk mendeteksi residu pestisida klorpirifos dan profenofos. Data hasil analisis ditabulasikan untuk melihat perbedaan antar residu pestisida antar lokasi dan analisis korelasi antara parameter sifat tanah dengan residu pestisida.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Residu Pestisida

Penelitian ini menunjukkan bahwa residu pestisida yang terdeteksi hanya berasal dari bahan aktif Klorpirifos pada kedua lokasi lahan pertanian konvensional, yaitu tanah lahan Candikuning (0,1307 ppm) dan kotoran cacing lahan Titigalar (0,0768 ppm), sementara Profenofos tidak ditemukan pada seluruh sampel baik tanah maupun kotoran cacing tanah (Tabel 1). Temuan ini didukung oleh hasil wawancara petani mengenai penggunaan pestisida, seperti merk Termiban yang mengandung klorpirifos dan Curacron yang mengandung profenofos (Tabel 2).

Tabel 1. Hasil Analisis Residu Pestisida.

No	Kode Sampel	Klorpirifos (ppm)	Profenofos (ppm)
1	Kotoran Cacing Titigalar	0,0768	<LoQ
2	Tanah Titigalar	<LoQ	<LoQ
3	Kotoran Cacing Candikuning	<LoQ	<LoQ
4	Tanah Candikuning	0,1307	<LoQ
5	Kotoran Cacing Batunya	<LoQ	<LoQ
6	Tanah Batunya	<LoQ	<LoQ
Batas Deteksi (LoQ)		0,0400	0,0600

Tabel 2. Hasil Wawancara Petani Konvensional

No	Tempat	Merk Pestisida	Bahan Aktif
1.	Titigalar	Gracia	Fluksametamid
		Sandor	Imidaklorpid
		Desanto	Nitenpiram
		Curacron	Profenofos
		Abamectin	Avermectin
		Termiban	Klorpirifos
		Spontan	Neristoksin
2.	Candikuning	Curacron	Profenofos
		Menecto	Siantraniliprol
		Synergi	Difenokonazol
		Termiban	Klorpirifos
		Mition	Etion
		Acrobat	Dimetomorfo
		Cabrio	Piroklostrobin
Terra	Dimehipo		

Hasil Analisis Sifat Tanah

Analisis sifat fisik tanah menunjukkan bahwa tanah didominasi fraksi pasir, dengan kelas tekstur lempung berpasir dan lempung liat berpasir (Tabel 3). Kadar air berkisar antara 4,585%–5,932%, berat volume antara 1,080–1,285 g/cm³, pH tanah berkisar 5,91–6,55, dan C-Organik berkisar 2,332–3,013%. Nilai C-Organik berbanding lurus dengan kandungan bahan organik tanah, sehingga jika nilai C-Organik tanah tinggi maka kandungan bahan organik tanah juga akan ikut tinggi (Risma et al., 2023). Kondisi pH tanah yang agak asam turut mempengaruhi kestabilan pestisida. Faktor-faktor seperti tekstur tanah dan kandungan bahan organik sangat mempengaruhi distribusi serta persistensi residu pestisida, di mana sistem pertanian organik terbukti tidak mengandung residu, sebagaimana dibuktikan pada lahan Batunya.

Hasil Analisis Data

Hasil analisis data berupa korelasi parameter tanah terhadap residu pestisida di lahan konvensional akan disajikan pada Tabel 4. Hasil analisis korelasi parameter tanah terhadap residu pestisida di lahan organik tidak menunjukkan adanya korelasi karena tidak ditemukannya nilai residu pestisida pada lahan organik. Uji korelasi menunjukkan bahwa residu pestisida hanya terdeteksi pada lahan konvensional, sedangkan lahan organik tidak mengandung residu. Korelasi hanya terjadi pada residu klorpirifos, karena profenofos tidak terdeteksi. Klorpirifos menunjukkan korelasi kuat hingga sangat kuat terhadap fraksi debu ($r = 0,72$) dan fraksi liat ($r = -0,89$), sedangkan parameter lain seperti kadar air, pH tanah, berat volume, dan C-organik menunjukkan korelasi lemah hingga sangat lemah.

Tabel 3. Hasil Analisis Sifat Fisik dan Kimia Tanah

No	Kode Sampel	Tekstur Tanah			Kadar Air (%)	Berat Volume Tanah (gram/cm ³)	pH Tanah	C-Organik (Tingkat Kadar)
		Pasir (%)	Debu (%)	Liat (%)				
1	Kotoran Cacing Titigalar	54,173	26,187	19,640	4,585	NA	5,91	2,716 (Sedang)
2	Tanah Titigalar	49,154	29,368	21,478	5,932	1,155	6,07	2,615 (Sedang)
3	Kotoran Cacing Candikuning	56,926	22,620	20,454	5,134	NA	6,10	2,731 (Sedang)
4	Tanah Candikuning	52,803	35,278	11,918	5,500	1,080	6,07	3,013 (Tinggi)
5	Kotoran Cacing Batunya	72,587	7,392	20,021	5,634	NA	6,31	2,332 (Sedang)
6	Tanah Batunya	53,393	30,178	15,883	5,874	1,285	6,55	2,750 (Sedang)

Tabel 4. Korelasi Parameter Tanah terhadap Residu Pestisida di Lahan Konvensional

	Kadar Air Tanah	pH Tanah	C-Organik	Pasir	Debu	Liat	Klorpirifos	Profenofos
Kadar Air Tanah	1							
pH Tanah	-0.10	1.00						
C-organik	-0.04	0.05	1.00					
Pasir	-0.52	-0.03	0.09	1.00				
Debu	0.36	0.06	0.30	-0.58	1.00			
Liat	-0.06	-0.05	-0.43	-0.02	-0.80	1.00		
Klorpirifos	-0.17	-0.15	0.37	0.02	0.72	-0.89	1	
Profenofos	0	0	0	0	0	0	0	1

Keterangan:

Interval Koefisien	Keeratan Korelasi
0,00 – 0,19	Sangat Lemah
0,20 – 0,39	Lemah
0,40 – 0,59	Sedang
0,60 – 0,79	Kuat
0,80 – 1,00	Sangat Kuat

Korelasi Parameter Tanah Terhadap Residu Pestisida

Hasil penelitian menunjukkan bahwa residu pestisida yang terdeteksi hanya berasal dari bahan aktif Klorpirifos pada kedua lokasi lahan pertanian konvensional, yang ditemukan pada tanah lahan Candikuning dan kotoran cacing lahan Titigalar. Bahan aktif Profenofos tidak terdeteksi di seluruh sampel tanah dan kotoran cacing tanah baik pada lahan organik maupun konvensional. Hal ini disebabkan karena bahan aktif Profenofos memiliki paruh waktu yang cenderung lebih singkat dibanding Klorpirifos. Akhdiya *et al.* (2018) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa masa persistensi profenofos dalam tanah berkisar 7–17 hari. Penelitian oleh Masbou *et al.* (2025) menyatakan jika paruh waktu Profenofos di tanah adalah berkisar antara 1.1 ± 0.6 . Paruh waktu Klorpirifos pada tanah dilaporkan oleh Singh *et al.* (2003) adalah berkisar antara 16 - 256 hari dan cenderung dipengaruhi oleh pH tanah, dimana semakin asam pH suatu tanah maka akan semakin lama paruh waktu dari residu pestisida tersebut, begitupula sebaliknya.

Keberadaan Klorpirifos dalam tanah Candikuning sebesar 0,1307 ppm menunjukkan bahwa area ini masih memiliki akumulasi residu pestisida yang dapat bertahan dalam tanah. Temuan ini juga didukung oleh keberadaan Klorpirifos dalam kotoran cacing di lahan Titigalar sebesar 0,0768 ppm, yang mengindikasikan bahwa pestisida yang terdapat dalam tanah dapat terserap ke dalam tubuh cacing tanah. Pada sampel tanah dan kotoran cacing tanah Batunya yang merupakan lahan dengan sistem pertanian organik tidak terdeteksi adanya residu pestisida, sehingga memberi validasi bahwa kondisi lahan yang telah tersertifikasi organik tidak memiliki kontaminasi pestisida pada lahan sendiri maupun berasal dari lahan lainnya.

Analisis sifat fisik tanah menunjukkan bahwa kadar air yang bervariasi antara 4,585% hingga 5,932% pada ketiga lokasi pengambilan sampel. Tekstur tanah di lokasi penelitian didominasi oleh fraksi pasir, dengan kelas tekstur utama berupa lempung berpasir. Hasil analisis rata - rata berat volume tanah dari masing - masing lokasi adalah berkisar pada $1,080 - 1,285 \text{ g cm}^{-3}$. Kisaran berat volume tersebut termasuk rendah dan menunjukkan bahwa tanah di ketiga lokasi memiliki kepadatan yang rendah. Hal tersebut didukung dengan perbandingan penelitian yang dilakukan oleh Pramudita (2024) dan Adibya *et al.* (2024), ditemukan jika berat volume tanah dengan dominasi fraksi liat berada pada kisaran $1,500 - 1,600 \text{ g cm}^{-3}$ dan tekstur tanah yang didominasi oleh fraksi pasir akan menunjukkan tingkat porositas tanah yang tinggi dengan berat volume yang lebih rendah, karena

tekstur tanah dan berat volume tanah saling berkaitan satu sama lain.

Analisis pH tanah ditemukan antara 5,9 hingga 6,5 menunjukkan kondisi tanah yang sedikit asam, sehingga dapat mempengaruhi stabilitas dan degradasi pestisida. Kandungan C-Organik tanah berada dalam kategori sedang hingga tinggi berkisar pada 2,332 - 3,013 %. Nilai C-organik tanah berkorelasi positif dengan nilai bahan organik, sehingga dengan mengetahui nilai C-Organik akan berbanding lurus terhadap kadar bahan organik pada tanah (Risma *et al.*, 2023).

Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa kadar residu klorpirifos dalam tanah cenderung dipengaruhi oleh sifat fisik tanah dengan arah dan kekuatan hubungan yang berbeda-beda. Korelasi residu pestisida dengan sifat fisik tanah tepatnya pada tekstur tanah pada fraksi liat dan debu. Fraksi liat menunjukkan korelasi negatif yang sangat kuat terhadap klorpirifos ($r = -0.89$), mengindikasikan bahwa semakin tinggi kandungan liat dalam tanah, maka kadar klorpirifos bebas pada tanah cenderung menurun. Cid *et al.* (2025) menyebutkan bahwa hal tersebut disebabkan karena klorpirifos tergolong hidrofobik yang akan mengalami adsorpsi oleh bahan organik tanah yang melekat pada kandungan liat di tanah.

Thabit *et al.* (2023) menyatakan bahwa stabilisasi bahan organik pada tanah adalah fungsi sifat kimia dari fraksi liat termasuk kemampuan permukaannya untuk mengadsorpsi bahan organik pada tanah. Ukalska-Jaruga *et al.* (2023) dalam penelitiannya telah membuktikan kemampuan dari bahan organik dalam mengadsorpsi pestisida. Hasil yang diperoleh adalah permukaan humat pada bahan organik dilengkapi banyak tempat penyerapan selektif dengan berbagai kemungkinan kapasitas adsorpsi pestisida, ditambah afinitas penyerapan yang lebih tinggi untuk senyawa non-polar termasuk klorpirifos. Hal tersebut juga didukung dengan penelitian oleh Fosu-Mensah *et al.* (2016) yang menemukan adanya korelasi negatif antara persentase liat tanah dan (lindane, dieldrin dan beta-HCH) menunjukkan bahwa persentase liat memiliki pengaruh yang signifikan terhadap distribusi pestisida di dalam tanah, sehingga peningkatan persentase liat tanah mengakibatkan penurunan lindane, dieldrin dan beta-HCH dan sebaliknya.

Hasil selanjutnya pada fraksi debu berkorelasi positif kuat ($r = 0,72$) dengan klorpirifos, yang menunjukkan bahwa tanah dengan kandungan debu lebih tinggi cenderung memiliki akumulasi klorpirifos yang lebih besar, karena ukuran partikel debu yang halus dan

luas permukaan yang besar dapat mendukung proses penjerapan.

Tanah yang didominasi fraksi lempung mempunyai luas permukaan yang lebih besar dari pasir dan lebih kecil dari liat, tetapi dalam kondisi tersebut debu dapat menahan air dan mampu membantu menyimpan unsur hara di tanah (Rizal et al., 2022). Pada penelitian lain oleh Anggraini et al. (2025) ditemukan bahwa fraksi debu mempunyai hubungan atau korelasi yang kuat dengan adsorpsi merkuri karena luas permukaan debu tersebut memberi peluang untuk kontak dengan merkuri lebih tinggi, sehingga semakin tinggi fraksi debu pada tanah maka akan meningkatkan adsorpsi merkuri. Penelitian lain oleh Zaady et al. (2022) menyebutkan bahwa berbagai jenis pestisida seperti insektisida, herbisida dan fungisida ditemukan terbawa oleh partikel debu di tanah Mediteranian dan daerah semi-kering. Hasil tersebut menunjukkan bahwa fraksi debu dapat menjerap dan membawa residu pestisida dari tanah ke lokasi lain. González-Curbelo et al. (2022) dan Zaady et al. (2022) dalam penelitiannya menunjukkan kemampuan debu dalam mengikat residu pestisida tidak sekuat fraksi liat. Residu pestisida yang terikat pada fraksi debu berpotensi untuk terdistribusi dan termobilisasi lebih mudah karena tidak teradsorpsi dengan kuat.

Korelasi antara residu pestisida dengan parameter sifat tanah mengindikasikan bahwa faktor-faktor seperti tekstur tanah dapat berperan dalam menentukan distribusi serta persistensi pestisida dalam tanah. Tanah dengan tekstur lempung berpasir dapat lebih mudah menyerap pestisida. Selain itu, kondisi lain dari tanah seperti pH tanah juga dapat mempengaruhi kestabilan pestisida di dalam tanah, meskipun secara analisis korelasi tidak ada hubungan antar keduanya.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa residu pestisida hanya teridentifikasi pada tanah dan kotoran cacing di lahan pertanian sayur konvensional di Kecamatan Baturiti, Kabupaten Tabanan, yaitu pada tanah di Desa Candikuning dan kotoran cacing di Desa Titigalar. Analisis lebih lanjut menemukan bahwa jenis bahan aktif pestisida yang terdeteksi di kedua lokasi tersebut adalah Klorpirifos, sedangkan Profenofos tidak ditemukan. Selain itu, analisis korelasi menunjukkan adanya hubungan antara kadar residu pestisida dengan sifat fisik tanah. Residu Klorpirifos menunjukkan korelasi positif kuat terhadap fraksi debu dengan koefisien korelasi sebesar 0,72, serta korelasi negatif sangat kuat terhadap fraksi liat dengan koefisien korelasi sebesar

-0,89. Temuan ini mengindikasikan bahwa sifat fisik tanah, khususnya proporsi fraksi debu dan liat, dapat mempengaruhi akumulasi residu pestisida di lahan pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- Adibya, L. G. K., Mega, I. M., Arthagama, I. D. M., Trigunasih, N. M., Narka, I. W., dan Soniari, N. N. (2024). Pemetaan Kualitas Tanah dan Arahan Pengelolaan Tanah Berbasis Sistem Informasi Geografis di Desa Pelaga, Kecamatan Petang, Kabupaten Badung. *Agrotrop: Journal on Agriculture Science*, 14(3), 346–355. <https://doi.org/https://doi.org/10.24843/AJoAS.2024.v14.i03.p06>
- Akhdiya, A., Wartono, Sulaeman, E., dan Samudera, I. M. (2018). Karakterisasi Bakteri Pendegradasi Profenofos. *Jurnal AgroBiogen*, 14(1), 37–46.
- Anggraini, M. D., Kusnarta, I. G. M., Suwardji, dan Tejowulan, S. (2025). Pengaruh Partikel Tanah Terhadap Adsorpsi Merkuri (Hg) Pada Ordo Tanah Entisol dan Inceptisol di Kabupaten Sumbawa Barat. *Jurnal Sains Teknologi dan Lingkungan*, 1(2).
- Anjani, B. P. T., Santoso, B. B., dan Sumarjan. (2022). Pertumbuhan dan Hasil Sawi Pakcoy (*Brassica rapa L.*) Sistem Tanam Wadah pada Berbagai Dosis Pupuk Kascing. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agrokomplek*, 1(1), 1–9. <https://doi.org/10.29303/jima.v1i1.1091>
- Cid, E. L. S., Osten, J. R., González-Chávez, M. del C. Á., Torres-Dosal, A., dan Huerta-Lwanga, E. (2025). Pesticide Residues in Tropical Agricultural Soils: Distribution, Seasonality, and Earthworm Ecological Risk. *Emerging Contaminants*, 11(1), 100436. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100436>
- Dwiastuti, S., dan Sajidan. (2014). Kontribusi Naungan Pohon terhadap Kepadatan Cacing Tanah. *Bioedukasi: Jurnal Pendidikan Biologi*, 7(2), 43. <https://doi.org/10.20961/bioedukasi-uns.v7i2.2940>
- Fosu-Mensah, B. Y., Okoffo, E. D., Darko, G., dan Gordon, C. (2016). Assessment of organochlorine pesticide residues in soils and drinking water sources from cocoa farms in Ghana. *SpringerPlus*, 5(1), 869. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2352-9>
- González-Curbelo, M. Á., Varela-Martínez, D. A., dan Riaño-Herrera, D. A. (2022). Pesticide-Residue Analysis in Soils by the QuEChERS Method: A Review. *Molecules*, 27(13), 4323. <https://doi.org/10.3390/molecules27134323>
- Imaniar, L. H., Arseliana, L., Maretta, G., Darmawan, A., Nurhayu, W., Sari, D. A., dan Nanda, M. Z.

- (2023). Kepadatan Populasi Cacing Tanah (Haplotaxida: Lumbricina) sebagai Bioindikator Kesuburan Tanah di Kebun Nusantara PT. Cinquer Agro Nusantara. *Wahana-Bio: Jurnal Biologi dan Pembelajarannya*, 15(1), 53–62. <https://doi.org/10.20527/wb.v15i1.15817>
- Joshi, N., Dabral, M., dan Maikhuri, R. K. (2010). Density, Biomass and Species Richness of Earthworms in Agroecosystems of Garhwal Himalaya, India. *Tropical Natural History*, 10(2), 171–179.
- Masbou, J., Grail, C., Payraudeau, S., Ruiz, L., Sekhar, M., Riotte, J., dan Imfeld, G. (2025). Dissipation of the Insecticide Profenofos in Tropical Agricultural Soils (Berambadi Catchment, South India): Insight from Compound-Specific Isotope Analysis (CSIA). *Journal of Hazardous Materials*, 488(January), 137428. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.137428>
- Mayasari, A. T., Kesumadewi, A. A. I., dan Kartini, N. L. (2019). Populasi, Biomassa dan Jenis Cacing Tanah pada Lahan Sayuran Organik dan Konvensional di Bedugul. *Agrotrop: Journal on Agriculture Science*, 9(1), 13–22. <https://doi.org/10.24843/ajoas.2019.v09.i01.p02>
- Melati, I. (2020). Teknik Bioremediasi: Keuntungan, Keterbatasan, dan Prospek Riset. *Prosiding Seminar Nasional Biotik*, 272–286.
- Pelosi, C., Barot, S., Capowiez, Y., Hedde, M., dan Vandenbulcke, F. (2014). Pesticides and Earthworms. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(1), 199–228. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0151-z>
- Pramudita, I. G. M. (2024). Evaluasi Kualitas Tanah Berbasis Sistem Informasi Geografis di Lahan Sawah Kecamatan Denpasar Timur untuk Menentukan Arah Pengelolaan [Universitas Udayana]. In *Universitas Udayana*. <https://doi.org/10.24843/ajoas.2023.v13.i01.p01>
- Purba, J. K., Sitingjak, R. R., Agustina, N. A., dan Irni, J. (2022). Kepadatan Populasi Cacing Tanah pada Perkebunan Kelapa Sawit di Desa Salang Tunggir Kecamatan Namorambe. *Jurnal Ilmiah Sains*, 22(1), 17–22. <https://doi.org/10.35799/jis.v22i1.35703>
- Risma, S., Maryam, dan A. Yusamah, R. (2023). Penentuan C-Organik pada Tanah untuk Meningkatkan Produktivitas Tanaman dan Keberlanjutan Umur Tanaman dengan Metoda Spektrofotometri uv vis. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 12(1), 11–19.
- Rizal, S., Syaibana, P. L. D., Wahono, F., Wulandari, L. T., dan Agustin, M. E. (2022). Analisis Sifat Fisika Tanah Ditinjau dari Penggunaan Lahan di Kecamatan Ngajum, Kabupaten Malang. *JPIG (Jurnal Pendidikan dan Ilmu Geografi)*, 7(2), 158–167. <https://doi.org/10.21067/jpig.v7i2.7022>
- Singh, B. K., Walker, A., Morgan, J. A. W., dan Wright, D. J. (2003). Effects of Soil pH on the Biodegradation of Chlorpyrifos and Isolation of a Chlorpyrifos-Degrading Bacterium. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(9), 5198–5206. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.9.5198-5206.2003>
- Supriyanto, Nurhidayanti, N., dan Pratama, H. F. (2021). Dampak Cemaran Residu Klorpirifos Terhadap Penurunan Kualitas Lingkungan pada Lahan Pertanian. *Jurnal Tekno Insentif*, 15(1), 30–40. <https://doi.org/10.36787/jti.v15i1.395>
- Thabit, F. N., El-Shater, A.-H., dan Soliman, W. (2023). Role of Silt and Clay Fractions in Organic Carbon and Nitrogen Stabilization in Soils of Some Old Fruit Orchards in The Nile Floodplain, Sohag Governorate, Egypt. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(2), 2525–2544. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01209-3>
- Tiwari, R. K., Singh, S., Pandey, R. S., dan Sharma, B. (2016). Enzymes of Earthworm as Indicators of Pesticide Pollution in Soil. *Advances in Enzyme Research*, 04, 113–124. <https://doi.org/10.4236/aer.2016.44011>
- Ukalska-Jaruga, A., Bejger, R., Smreczak, B., dan Podlasiński, M. (2023). Sorption of Organic Contaminants by Stable Organic Matter Fraction in Soil. *Molecules*, 28(1), 429. <https://doi.org/10.3390/molecules28010429>
- Zaady, E., Sarig, S., dan Katra, I. (2022). Dust Particles as a Pesticide's Carrier in Agro-Ecosystems; Qualitative and Quantitative Analysis. *Agronomy*, 12(8), 1826. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081826>