

Peningkatan Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) dengan Pemberian Pupuk Organik dan Jarak Tanam

Amir M.¹, Muhammad Fahyu Sanjaya^{2*}, Ansar Muhajir³, dan Ridha Anugrah Putra⁴

^{1, 2*, 3, & 4}Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian dan Kehutanan, Universitas Sulawesi Barat

*Email: muh.fahyusanjaya@unsulbar.ac.id

Abstract

Investigasi ilmiah ini berusaha menganalisis pengaruh berbagai tingkat pupuk organik yang diterapkan pada berbagai jarak tanam terhadap perkembangan dan produktivitas padi. Penyelidikan dilakukan di Desa Tubo Selatan, yang terletak di Sulawesi Barat, menggunakan metodologi desain petak terbagi dengan rancangan acak kelompok (RAK) sebagai rancangan lingkungannya, di mana petak utamanya adalah Jarak Tanam (J), yang mencakup tiga tingkatan yang berbeda: jarak tanam 22 x 22 cm (J1), 22 x 25 cm (J2), dan 22 x 30 cm (J3). Selanjutnya, anakan petak pada penelitian ini adalah pupuk organik (P), yang diklasifikasikan menjadi tiga tingkat: tanpa pupuk (P1), 4 kg pupuk organik (P2), dan 8 kg pupuk organik (P3). Setiap perlakuan direplikasi tiga kali, dengan total 27 plot percobaan. Data dianalisis melalui ANOVA pada tingkat kepercayaan 95% menggunakan perangkat lunak R-Statistics. Variabilitas yang diamati antara perawatan pupuk organik dan jarak tanam diuji lebih lanjut menggunakan Duncan's Multiple Range Test (DMRT). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan 8 kg pupuk organik bersamaan dengan jarak tanam 22 x 30 cm menghasilkan hasil optimal dalam tinggi tanaman, meskipun tidak mencapai signifikansi statistik; Namun, parameter termasuk jumlah anakan, berat gabah basah, berat gabah kering, dan berat gabah isi menunjukkan perubahan signifikan yang disebabkan oleh perlakuan pupuk organik. Perlakuan kombinasi yang melibatkan jarak tanam 22 x 30 cm dan dosis 8 kg pupuk organik menunjukkan peningkatan efisiensi penyerapan nutrisi, secara signifikan mempengaruhi berat gabah isi dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Penelitian ini menggambarkan bahwa jarak tanam optimal untuk budidaya padi adalah 22 x 30 cm, dikombinasikan dengan dosis pupuk organik paling efektif 8 kg di semua variabel yang diukur.

Keywords : Padi Sawah, Pupuk Organik, Jarak Tanam, Produktivitas

1. Pendahuluan

Ketahanan pangan di Indonesia kian tahun makin tergerus oleh ancaman dari berbagai masalah global. Konflik antar negara, pandemi dan perubahan iklim yang ekstrim menjadikan ancaman terhadap ketersediaan pangan dalam negeri. Produksi padi penduduk Indonesia menurut Badan Pusat Statistik (BPS) di Tahun 2023 sebesar 26,17 juta ton, dengan luas panen 10,20 juta hektar. Terlihat adanya penurunan produksi dan luas areal lahan apabila dibandingkan pada produksi tahun 2022 dimana produksi beras tercatat 26,11 juta ton dengan luas panen 10,45 juta hektar (BPS, 2023). Hasil ini secara persentase terlihat produksi beras nasional di tahun 2023 mengalami penurunan sebesar 0,22% dan luas panen menurun sebesar 2,45% (BPS, 2023). Banyak faktor yang menjadikan produksi padi nasional selalu mengalami penurunan antara lain luas area panen yang kian tergerus akibat adanya alih fungsi lahan menjadi perkebunan, kawasan industri, perumahan dan jalan infrastruktur. Kondisi ini dapat menjadi ancaman kedepan apalagi jumlah penduduk Indonesia terus meningkat setiap tahunnya.

Salah satu upaya yang bisa dilakukan untuk mencegah penurunan produksi ialah intensifikasi pertanian yaitu memberikan input teknologi yang bertujuan untuk meningkatkan produksi padi secara optimal. Mayoritas padi yang dikembangkan di Indonesia adalah jenis padi sawah (Susanti et al., 2024). Banyak upaya yang telah

dilakukan untuk mendorong optimalisasi pertumbuhan dan produksi padi, seperti pemberian pupuk, pengaplikasian teknik budidaya dan lainnya.

Pemberian pupuk organik sering menjadi pilihan untuk meningkatkan produksi padi. Pupuk organik mengandung nutrisi mikro seperti N, P, K maupun makro (Cu, Zn, dan Fe) yang dibutuhkan untuk ketersediaan nutrisi dalam tanah (Ernest et al., 2024; Thomas et al., 2019). Pengaplikasian pupuk organik dapat meningkatkan pH di tanah yang masam, nutrisi mineral dan kandungan C-organik dalam tanah (Bai et al., 2023; Xu et al., 2024). Selain itu pupuk organik juga meningkatkan jumlah dan aktivitas biologi tanah sehingga meningkatkan kualitas dan kesehatan tanah (Liu et al., 2023; Zhang et al., 2024). Sedangkan pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman telah banyak dilaporkan bahwa pupuk organik dapat meningkatkan produktivitas tanaman. Penelitian Li et al. (2023) sendiri melaporkan bahwa pupuk organik yang diaplikasikan pada tanaman tomat menghasilkan buah yang memiliki kualitas baik dengan peningkatan hasil hingga 26,29%.

Selanjutnya input teknologi lainnya yang digunakan ialah teknik budidaya padi sawah dengan jarak tanam. Jarak tanam padi sawah berpengaruh pada serapan nutrisi, tanaman akan tercukupi nutrisinya apabila kompetisi serapan hara tidak terjadi antar individu. Jarak tanam yang terlalu dekat akan membuat tanaman tidak tercukupi unsur haranya. Penelitian yang dilakukan oleh

Stape et al. (2022) bahwa kepadatan populasi yang tinggi dalam budidaya tanaman dapat menurunkan produksi tanaman, bahkan dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa meningkatkan kepadatan populasi dengan mengatur jarak tanam dapat menurunkan hingga 18 % produktivitas tanaman. Sedangkan dampak jarak tanam terhadap ketersediaan unsur hara terletak pada kepadatan populasi yang mengakibatkan berkurangnya unsur hara baik dari sumber nya dalam tanah maupun dari serapannya ke tanaman (Huang et al., 2019).

Perlakuan pupuk organik dan jarak tanam dapat mempengaruhi produktivitas tanaman. Tanaman yang dibudidayakan dengan jarak tanam yang ideal dengan kombinasi pupuk organik yang tepat akan meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman. Oleh karena itu tujuan dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui jarak tanam dan dosis pupuk yang ideal terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman padi.

2. Metodologi

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan di Desa Tubo Selatan, Kecamatan Tubo Sendana, Provinsi Sulawesi Barat. Bahan yang digunakan yaitu benih padi (Varietas Mekongga), selang, papan label, pupuk kandang, dan kantung kresek. Alat yang digunakan yaitu cangkul, skop, timbangan analitik, parang, arit, gunting, mistar, hand counter, isolasi, gembor, baki, paranet, jaring putih, kamera digital dan alat tulis-menulis.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) pola faktorial. Faktor pertama yaitu Jarak Tanam (J) yang terdiri dari 3 taraf:

J1 : 22 x 22 cm

J2 : 22 x 25 cm

J3 : 22 x 30 cm

Faktor kedua yaitu pupuk organik (P) yang terdiri dari 3 taraf:

P1 : tanpa pupuk organik

P2 : 4 kg pupuk organik

P3 : 8 kg pupuk organik

Dari faktor perlakuan tersebut diperoleh 9 kombinasi perlakuan dan masing-masing kombinasi perlakuan diulang sebanyak 3 kali ulangan sehingga seluruhnya berjumlah 27 petak. Data dianalisis dengan analisis sidik ragam (anova) pada taraf kepercayaan 95% dengan menggunakan software R-Statistik. Beda nyata tiap perlakuan pupuk organik dan jarak tanam diuji lanjut DMRT.

Adapun kondisi kimia dan fisik tanah sebelum dilakukan penelitian tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik kimia tanah pada lokasi penelitian

Hara Tersedia	Nilai Data	Kriteria*
Pasir (%)	15	Tekstur Liat
Liat (%)	58	
Debu (%)	27	
pH (H ₂ O)	6,55	Agak Masam
C-Organik (%)	2,31	Sedang
N (%)	0,24	Sedang
P (ppm)	11,73	Sedang
Ca (cmol(+))kg ⁻¹)	7,65	Sedang
Mg (cmol(+))kg ⁻¹)	2,05	Sedang
K (cmol(+))kg ⁻¹)	0,25	Rendah

Na (cmol(+))kg ⁻¹)	0,31	Rendah
KTK (cmol(+))kg ⁻¹)	27,57	Tinggi

*Balai Penelitian Tanah, 2005.

Karakterisasi Kimia dan Fisik Tanah Tanaman Padi berisi data mengenai sifat fisik dan kimia tanah sebelum penanaman tanaman padi. Hasil ini meliputi beberapa parameter, seperti tekstur tanah dengan komposisi pasir 15%, debu 27%, dan liat 58% yang diklasifikasikan sebagai tekstur liat. Tingkat keasaman tanah menunjukkan nilai pH 6,55, tergolong agak masam. Beberapa komponen penting lainnya juga diukur, antara lain kandungan C-organik (2,31%) dan nitrogen (N) sebesar 0,24%, yang keduanya termasuk kategori sedang, serta fosfor (P) sebesar 11,73 ppm. Kapasitas Tukar Kation (KTK) sebesar 27,57 cmol(+))kg⁻¹ menunjukkan kategori tinggi, sementara kation lain seperti kalsium (Ca), magnesium (Mg), kalium (K), dan natrium (Na) memiliki nilai yang bervariasi sesuai kategori yang relevan untuk tanah pertanian.

Dalam konteks agronomi, karakterisasi ini sangat penting untuk menentukan kesesuaian lahan bagi pertumbuhan padi, di mana faktor-faktor seperti KTK yang tinggi mendukung retensi nutrisi dan tekstur liat dapat mempengaruhi drainase tanah dan penyerapan hara (Leue et al., 2019; Ramesh & Raghavan, 2024). Penelitian ini relevan dengan referensi internasional yang menunjukkan pentingnya analisis karakteristik tanah untuk mengoptimalkan hasil pertanian, khususnya dalam ekosistem tanaman padi.

3. Hasil

Hasil analisis variabel pengamatan tinggi tanaman, jumlah anakan, berat gabah segar, berat gabah kering dan berat gabah isi direkapitulasi pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi hasil analisis pengaruh perlakuan jarak tanam, pupuk organik, dan interaksi perlakuan (jarak tanam dan pupuk organik)

Variabel Pengamatan	Perlakuan		
	Jarak Tanam (PU)	Pupuk Organik (AP)	Interaksi (Jarak*Pupuk)
Tinggi Tanaman	tn	tn	tn
Jumlah Anakan	tn	*	tn
Berat Gabah Basah	tn	**	tn
Berat Gabah Kering	tn	**	tn
Berat Gabah Isi	tn	**	*

Keterangan: PU adalah petak utama; AP adalah anak petak; tn artinya tidak nyata karena memiliki nilai $p > 0,05$; * artinya nyata karena memiliki nilai $p < 0,05$; ** artinya sangat nyata signifikan memiliki nilai $p < 0,01$.

Tabel diatas menunjukkan bahwa perlakuan jarak tanam tidak berpengaruh nyata terhadap semua variabel pengamatan. Sedangkan perlakuan pupuk organik berpengaruh nyata terhadap jumlah anakan dan berpengaruh sangat nyata terhadap berat gabah segar, berat gabah kering, serta berat gabah isi. Adapun interaksi antar

perlakuan jarak tanam dan pupuk organik hanya berpengaruh nyata terhadap berat gabah isi (Tabel 1).

Tinggi Tanaman

Temuan yang diperoleh dari analisis varietas menunjukkan bahwa manipulasi jarak tanam, penerapan pupuk organik, serta interaksi antara jarak tanam dan pupuk organik, menunjukkan efek yang tidak nyata pada variabel tinggi tanaman.

Tabel 2. Rata-rata tinggi tanaman padi sawah (cm)

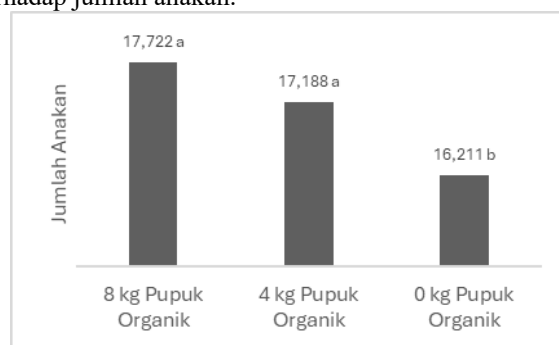
Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)
J1P1	68,734 ± 2,88
J1P2	67,934 ± 4,69
J1P3	71,134 ± 3,37
J2P1	69,916 ± 0,41
J2P2	67,35 ± 8,15
J2P3	68,767 ± 2,70
J3P1	68,51 ± 3,33
J3P2	68,616 ± 2,97
J3P3	72,034 ± 6,94

Keterangan: J1P1 (Jarak tanam 22 x 22 cm + Tanpa pupuk); J1P2 (Jarak tanam 22 x 22 cm + 4 kg pupuk organik); J1P3 (Jarak tanam 22 x 22 cm + 8 kg pupuk organik); J2P1 (Jarak tanam 22 x 25 cm + Tanpa pupuk); J2P2 (Jarak tanam 22 x 25 cm + 4 kg pupuk organik); J2P3 (Jarak tanam 22 x 25 cm + 8 kg pupuk organik); J3P1 (Jarak tanam 22 x 30 cm + Tanpa pupuk); J3P2 (Jarak tanam 22 x 30 cm + 4 kg pupuk organik); J3P3 (Jarak tanam 22 x 30 cm + 8 kg pupuk organik).

Rata-rata tinggi tanaman (Tabel 2) terlihat bahwa tinggi tanaman tertinggi diperoleh perlakuan J3P3 (jarak tanam 22 x 30 cm dengan dosis 8 kg pupuk organik) dengan tinggi tanaman padi sebesar 72,034 cm sedangkan tinggi tanaman terpendek diperoleh perlakuan J1P2 (jarak tanam 22 x 22 cm dengan dosis 4 kg pupuk organik) menghasilkan tinggi tanaman padi sebesar 67,93 cm. Manipulasi jarak tanam, penerapan pupuk organik, dan kombinasi jarak tanam dan pupuk organik menunjukan efek yang dapat diabaikan pada tinggi tanaman, disebabkan oleh ketersediaan pupuk organik yang tertunda dan penyediaan unsur nitrogen secara bertahap untuk tanaman, karena zat ini harus terlebih dahulu menjalani proses transformasi atau mineralisasi (Ramesh & Raghavan, 2024; Yang et al., 2020). Bahan organik saat ini belum dapat memenuhi persyaratan pertumbuhan tanaman, sehingga kurang kapasitas untuk secara signifikan mempengaruhi tinggi tanaman. Selanjutnya, Fogliatto et al. (2024) mengemukakan bahwa pertumbuhan tanaman padi tidak dipengaruhi oleh jarak tanam, menunjukkan bahwa manipulasi jarak tanam memiliki efek yang dapat diabaikan pada ketinggian tanaman padi.

Jumlah Anakan

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan pupuk organik memberikan pengaruh nyata terhadap jumlah anakan.

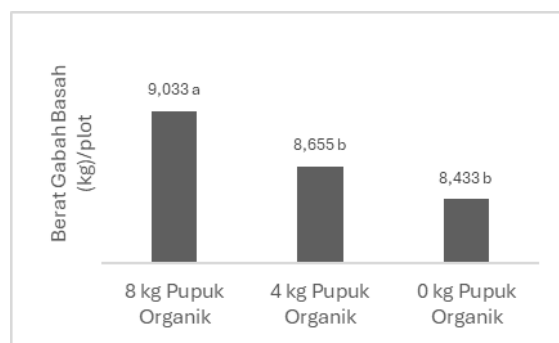


Gambar 1. Hasil analisis pengaruh pupuk organik terhadap jumlah anakan

Temuan analisis (Gambar 1) dengan dosis pupuk organik 8 kg/ha (P3) menghasilkan jumlah anakan tertinggi, dengan total 17.722, angka yang tidak berbeda secara signifikan dengan jumlah yang dihasilkan oleh dosis 4 kg/ha pupuk organik (P2), namun terlihat perbedaan yang signifikan jika dibandingkan dengan pupuk organik 0 kg/ha (P1). Penerapan pupuk organik memberikan efek yang signifikan secara statistik pada jumlah anakan, karena pupuk ini mampu memasok nutrisi penting yang memfasilitasi pertumbuhan dan perkembangan anakan (Adviany & Maulana, 2019).

Berat Gabah Basah

Temuan yang diperoleh dari analisis pengujian menunjukkan bahwa penerapan pupuk organik memiliki efek yang signifikan pada berat gabah basah.

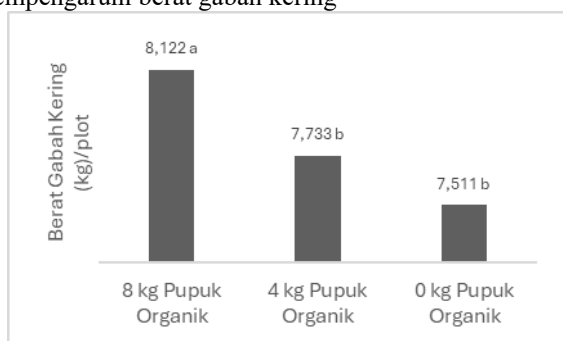


Gambar 2. Hasil analisis pengaruh pupuk organik terhadap berat gabah basah

Temuan analisis (Gambar 2) dengan pupuk organik dosis 8 kg/ha (P3) menyebabkan berat gabah basah tertinggi yang diamati sebesar 9.033 kg/ha, yang secara signifikan lebih besar jika dibandingkan dengan plot yang dipelakukan dengan dosis pupuk organik 0 kg/ha (P1) dan 4 kg/ha (P2). Dampak pupuk organik pada berat gabah basah sangat jelas, disebabkan oleh kandungan nutrisinya yang lengkap dan cenderung tinggi (Nookabkaew et al., 2016) sehingga kebutuhan nutrisi tanaman tercukupi dan menghasilkan berat gabah basah yang tinggi.

Berat Gabah Kering

Temuan yang diperoleh dari analisis pengujian menunjukkan bahwa pupuk organik secara signifikan mempengaruhi berat gabah kering

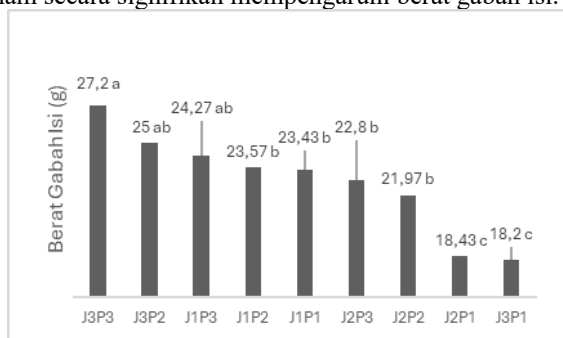


Gambar 3. Hasil analisis pengaruh pupuk organik terhadap berat gabah kering

Temuan yang diperoleh dari analisis (Gambar 3) menunjukkan bahwa penerapan pupuk organik dosis 8 kg/ha (P3) menghasilkan berat gabah kering paling optimal sebesar 8.122 kg/plot, yang secara statistik lebih rendah secara signifikan dibandingkan dengan perlakuan pupuk organik 0 kg/ha (P1) dan 4 kg/ha (P2). Pupuk organik memberikan pengaruh sangat nyata terhadap berat gabah kering karena kebutuhan nutrisi tanaman yang tercukupi sehingga mempengaruhi hasil berat gabah kering. Pemberian pupuk organik yang tercukupi dan sesuai dengan kebutuhan tanaman maka penyerapan hara lebih efektif dan optimal dalam pembentukan fotosintesis. Toselli et al., (2023) juga menyampaikan bahwa makin tepat dosis pupuk yang diberikan makin baik produktivitas tanaman.

Berat Gabah Isi

Temuan yang diperoleh dari analisis pengujian menunjukkan bahwa kombinasi pupuk organik dan jarak tanam secara signifikan mempengaruhi berat gabah isi.



Gambar 4. Hasil analisis interaksi pupuk organik dan jarak tanam terhadap berat gabah isi

Hasil uji DMRT (Gambar 4) menunjukkan perlakuan J3P3 (jarak tanam 22 x 30 cm dengan dosis pupuk organik 8 kg) menghasilkan berat gabah isi tertinggi yaitu 27,2 g yang tidak berbeda nyata dengan kombinasi perlakuan J3P2 dan J1P3 tetapi berbeda nyata dengan kombinasi perlakuan J1P2, J1P1, J2P3, J2P2, J2P1, J3P1. kombinasi perlakuan J3P1 (jarak tanam 22 x 30 cm dengan dosis pupuk organik 0 kg) menghasilkan berat gabah isi terendah yaitu 18,2 g. Hasil ini menunjukkan bahwa jarak tanam yang lebar dikombinasikan dengan dosis pupuk organik yang tinggi akan menciptakan kondisi

optimal bagi tanaman untuk menghasilkan gabah isi yang maksimal. Ruang tanam yang lebih luas memungkinkan tanaman untuk mendapatkan sinar matahari dan nutrisi dengan lebih baik, sementara dosis pupuk organik yang tinggi menyediakan unsur hara yang cukup untuk mendukung pembentukan gabah isi. Obaid et al. (2022) Jarak tanam yang optimal dikemukakan untuk meningkatkan pertumbuhan bagian atas dan akar tanaman, sehingga memfasilitasi pemanfaatan radiasi matahari dan penyerapan nutrisi yang lebih efisien. Sebaliknya, jarak tanam yang terlalu dekat menimbulkan persaingan di antara tanaman untuk sumber daya penting seperti cahaya, air, dan nutrisi. Akibatnya, persaingan ini dapat menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tanaman dan penurunan hasil pertanian. Hassan (2018) lebih lanjut menjelaskan bahwa jarak tanam yang lebih luas memberi berbagai spesies tanaman kesempatan untuk sepenuhnya mengeksplorasi potensi pertumbuhannya. Selain itu, penggabungan bahan organik merupakan intervensi strategis yang bertujuan memperbaiki lingkungan pertumbuhan tanaman, yang, di antara manfaat lainnya, dapat meningkatkan efektivitas pupuk. Makronutrien, termasuk nitrogen, fosfor, dan kalium, memainkan peran penting dalam menentukan produktivitas padi; respons tanaman padi terhadap nutrisi ini dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk penambahan bahan organik. Meningkatkan kesuburan tanah melalui integrasi bahan organik pada dasarnya penting untuk mempertahankan hasil gabah yang tinggi. (Li et al., 2019).

4. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian, disimpulkan bahwa kombinasi jarak tanam 22x30 cm dan pupuk organik dosis 8 kg per plot merupakan perlakuan terbaik untuk meningkatkan berat gabah isi padi. Pupuk organik 8 kg menghasilkan jumlah anakan, berat gabah basah, berat gabah kering dan berat gabah isi signifikan dibandingkan perlakuan lainnya. Penelitian ini menunjukkan bahwa jarak tanam yang ideal dalam budidaya tanaman padi ialah 22x30 cm dengan dosis pupuk organik terbaik yaitu 8 kg untuk semua variabel yang diamati.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada DIPA Kampus Universitas Sulawesi Barat No. 606/UN55/HK.02/2023 yang telah memberikan dukungan pendanaan kegiatan selama berlangsungnya PDP tahun 2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Adviany, I., & Maulana, D. D. (2019). Pengaruh Pupuk Organik dan Jarak Tanam terhadap C-Organik, Populasi Jamur Tanah dan Bobot Kering Akar serta Hasil Padi Sawah pada Inceptisols Jatinangor, Sumedang. *Agrotechnology Research Journal*, 3(1), 28–35. <https://doi.org/10.20961/agrotechresj.v3i1.30382>
- Bai, X., Tang, J., Wang, W., Ma, J., Shi, J., & Ren, W. (2023). Organic amendment effects on cropland soil organic carbon and its implications: A global synthesis. *CATENA*, 231, 107343. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107343>
- BPS. (2023). *Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia 2023 (Angka Sementara)* (H. dan P. Direktorat Statistik Tanaman Pangan, Ed.; Vol. 5). BPS-Statistics Indonesia.

- Ernest, B., Eltigani, A., Yanda, P. Z., Hansson, A., & Fridahl, M. (2024). Evaluation of selected organic fertilizers on conditioning soil health of smallholder households in Karagwe, Northwestern Tanzania. *Heliyon*, 10(4), e26059. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26059>
- Fogliatto, S., Zafferoni, G., Zefelippo, M., De Palo, F., Airoidi, G., Dinuccio, E., & Vidotto, F. (2024). Feasibility of mechanical rice transplanting in organic Italian rice system. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 39, e23. <https://doi.org/10.1017/S1742170524000188>
- Hassan, I. A. (2018). The Effect of Planting Distance and Spraying with Different Concentrations of (Micronate15) on Vegetative Growth and Yield Traits of Pea Plant (*Pisum Sativum* L.). *Kurdistan Journal of Applied Research*, 3(2), 13–19. <https://doi.org/10.24017/science.2018.3.3>
- Huang, J., Li, Y., Shi, Y., Wang, L., Zhou, Q., & Huang, X. (2019). Effects of nutrient level and planting density on population relationship in soybean and wheat intercropping populations. *PLOS ONE*, 14(12), e0225810. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225810>
- Leue, M., Beck-Broichsitter, S., Felde, V. J. M. N. L., & Gerke, H. H. (2019). Determining Millimeter-Scale Maps of Cation Exchange Capacity at Macropore Surfaces in Bt Horizons. *Vadose Zone Journal*, 18(1), 1–11. <https://doi.org/10.2136/vzj2018.08.0162>
- Li, F., Yuan, Y., Shimizu, N., Magaña, J., Gong, P., & Na, R. (2023). Impact of organic fertilization by the digestate from by-product on growth, yield and fruit quality of tomato (*Solanum lycopersicon*) and soil properties under greenhouse and field conditions. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 10(1), 70. <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00448-x>
- Liu, W., Yang, Z., Ye, Q., Peng, Z., Zhu, S., Chen, H., Liu, D., Li, Y., Deng, L., Shu, X., & Huang, H. (2023). Positive Effects of Organic Amendments on Soil Microbes and Their Functionality in Agro-Ecosystems. *Plants*, 12(22), 3790. <https://doi.org/10.3390/plants12223790>
- Nookabkaew, S., Rangkadilok, N., Prachoom, N., & Satayavivad, J. (2016). Concentrations of Trace Elements in Organic Fertilizers and Animal Manures and Feeds and Cadmium Contamination in Herbal Tea (*Gynostemma pentaphyllum* Makino). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(16), 3119–3126. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b06160>
- Obaid, Abdulraheem. A., Khalil, Nazik. H., Al-Alawy, H. H., & Hasan Fahmi, A. (2022). Effect of planting density, foliar spraying and overlapping system on the growth and productivity using soilless culture system. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21(8), 506–510. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2022.02.004>
- Ramesh, K., & Raghavan, V. (2024). Agricultural Waste-Derived Biochar-Based Nitrogenous Fertilizer for Slow-Release Applications. *ACS Omega*, 9(4), 4377–4385. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c06687>
- Stape, J. L., Silva, C. R., & Binkley, D. (2022). Spacing and geometric layout effects on the productivity of clonal Eucalyptus plantations. *Trees, Forests and People*, 8, 100235. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100235>
- Susanti, W. I., Cholidah, S. N., & Agus, F. (2024). Agroecological Nutrient Management Strategy for Attaining Sustainable Rice Self-Sufficiency in Indonesia. *Sustainability*, 16(2), 845. <https://doi.org/10.3390/su16020845>
- Thomas, C. L., Acquah, G. E., Whitmore, A. P., McGrath, S. P., & Haefele, S. M. (2019). The Effect of Different Organic Fertilizers on Yield and Soil and Crop Nutrient Concentrations. *Agronomy*, 9(12), 776. <https://doi.org/10.3390/agronomy9120776>
- Toselli, M., Baldi, E., Ferro, F., Rossi, S., & Cillis, D. (2023). Smart Farming Tool for Monitoring Nutrients in Soil and Plants for Precise Fertilization. *Horticulturae*, 9(9), 1011. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9091011>
- Xu, H., Wang, S., Jiang, N., Xie, H., Chen, Z., Zhang, Y., & Li, S. (2024). Organic fertilizer prepared by thermophilic aerobic fermentation technology enhanced soil humus and related soil enzyme activities. *Soil Use and Management*, 40(2). <https://doi.org/10.1111/sum.13059>
- Yang, X., Li, G., Jia, X., Zhao, X., & Lin, Q. (2020). Net nitrogen mineralization delay due to microbial regulation following the addition of granular organic fertilizer. *Geoderma*, 359, 113994. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113994>
- Zhang, K., Wei, H., Chai, Q., Li, L., Wang, Y., & Sun, J. (2024). Biological soil conditioner with reduced rates of chemical fertilization improves soil functionality and enhances rice production in vegetable-rice rotation. *Applied Soil Ecology*, 195, 105242. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105242>