

Perubahan Sifat Kimia Tanah Entisols, Respons Agronomis, dan Produktivitas Padi setelah Lima Tahun Penerapan Sistem Organik dan Kimia di Wukirsari, Sleman, Yogyakarta

Yovi Avianto^{*}), Amir Noviyanto, Galang Indra Jaya, Alan Handru

Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, INSTIPER Yogyakarta
Jl. Nangka II, Krodan, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta

^{*}E-mail korespondensi: yovi@instiperjogja.ac.id

ABSTRACT

Sustaining rice production while reducing soil degradation has become an important challenge in intensively cultivated paddy fields, particularly on Entisols that are highly responsive to management practices. This study evaluated changes in the chemical properties of Entisols and their implications for rice agronomic performance after five years of organic and chemical management in Wukirsari, Sleman, Yogyakarta. Soil samples were collected from paddy fields under organic and chemical systems and analyzed for pH, C-organic, organic matter, cation exchange capacity (CEC), total N, available P, exchangeable K, Ca, Mg, and total B. Agronomic parameters and grain yield were also observed. The organic system gradually improved major soil chemical properties, particularly pH, C-organic, organic matter, available P, exchangeable Ca, and Mg. Relative change analysis showed that the strongest positive responses under organic management occurred in organic matter, available P, exchangeable K, Mg, and total B after five years. These improvements were followed by better root dry weight density, root length, and productive tiller number. Rice productivity under organic management increased from 5.2 t ha⁻¹ in the first year to 7.5 t ha⁻¹ in the fifth year, which was not significantly different from the chemical system (7.8 t ha⁻¹). These findings indicate that long-term organic management can progressively improve soil fertility and maintain rice productivity, implying that organic-based management is a promising strategy for sustaining paddy production while enhancing soil quality in Entisol-dominated agricultural areas.

Keywords: Organic; Rice Cultivation; Soil Chemical Properties; Sandy Soil

PENDAHULUAN

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan tanaman pangan utama di Indonesia, termasuk di Kabupaten Sleman. Kabupaten ini memiliki luas panen padi sebesar 22.824 ha, tetapi luas tersebut terus menurun dari tahun ke tahun, sementara produktivitas rata-ratanya masih berada pada kisaran 5 ton ha⁻¹ (Badan Pusat Statistik, 2024). Kondisi ini menunjukkan bahwa

peningkatan produksi padi tetap menjadi kebutuhan penting di tengah meningkatnya permintaan pangan. Sistem pertanian konvensional berbasis pupuk dan pestisida sintetis telah terbukti efektif dalam meningkatkan hasil panen (Irawan & Antriyandarti, 2021), tetapi di sisi lain juga menimbulkan persoalan serius berupa pencemaran lingkungan, degradasi tanah, dan risiko terhadap keamanan pangan (Mariyono dkk., 2018).

Salah satu dampak penting penggunaan pupuk kimia sintetis secara terus-menerus adalah menurunnya cadangan bahan organik tanah. Padahal, bahan organik tanah berperan penting dalam menjaga kesuburan tanah, meningkatkan kapasitas menahan air, memperbaiki struktur tanah, dan mendukung aktivitas mikroorganisme yang bermanfaat (Jin dkk., 2020; Murphy, 2015; Wei dkk., 2016). Penggunaan pupuk tertentu seperti urea dapat menurunkan pH tanah dan pada akhirnya menghambat penyerapan unsur hara serta aktivitas mikroba tanah (Fageria dkk., 2010). Ketidakseimbangan pemupukan juga dapat menurunkan efisiensi ketersediaan fosfor dan meningkatkan risiko pencemaran nitrat pada air tanah (Cui et al., 2020). Keberlanjutan produksi padi sangat bergantung pada sistem budidaya yang tidak hanya mengejar hasil, tetapi juga mempertahankan kualitas tanah.

Pemilihan tanah Entisols menjadi penting karena tanah ini umumnya merupakan tanah muda dengan tingkat perkembangan profil yang masih lemah, sehingga sifat-sifat kimianya sangat dipengaruhi oleh pengelolaan lahan (Noviyanto, 2024). Pada lahan sawah, Entisols sering menunjukkan kondisi yang masih rentan terhadap perubahan bahan organik, reaksi tanah, dan ketersediaan unsur hara, terutama ketika dikelola secara intensif dalam jangka panjang (Herawati dkk., 2023). Entisols menjadi menarik untuk dikaji karena responsnya terhadap penambahan input organik maupun kimia dapat diamati dengan lebih jelas melalui perubahan sifat kimia tanah (Kusumawati & Noviyanto, 2025). Pada lanskap vulkanik seperti Sleman, tanah Entisols juga banyak dimanfaatkan untuk budidaya padi, sehingga pengkajian sistem pengelolaannya memiliki relevansi praktis yang tinggi bagi keberlanjutan produksi di tingkat lapangan.

Sistem pertanian organik menjadi salah satu alternatif yang semakin relevan dalam konteks tersebut. Sistem ini menekankan penggunaan input alami seperti pupuk kandang, kompos, dan pestisida nabati untuk membangun ekosistem pertanian yang lebih seimbang dan sehat (Meemken & Qaim, 2018). Penggunaan bahan organik dalam sistem organik berpotensi memperbaiki reaksi tanah, meningkatkan kandungan karbon organik dan bahan organik, serta mendukung keanekaragaman hayati tanah yang berperan dalam menjaga kesuburan tanah (Iqbal dkk., 2022a). Namun, manfaat sistem organik umumnya tidak langsung terlihat pada fase awal penerapan, sehingga evaluasinya perlu dilakukan dalam kerangka waktu yang lebih panjang.

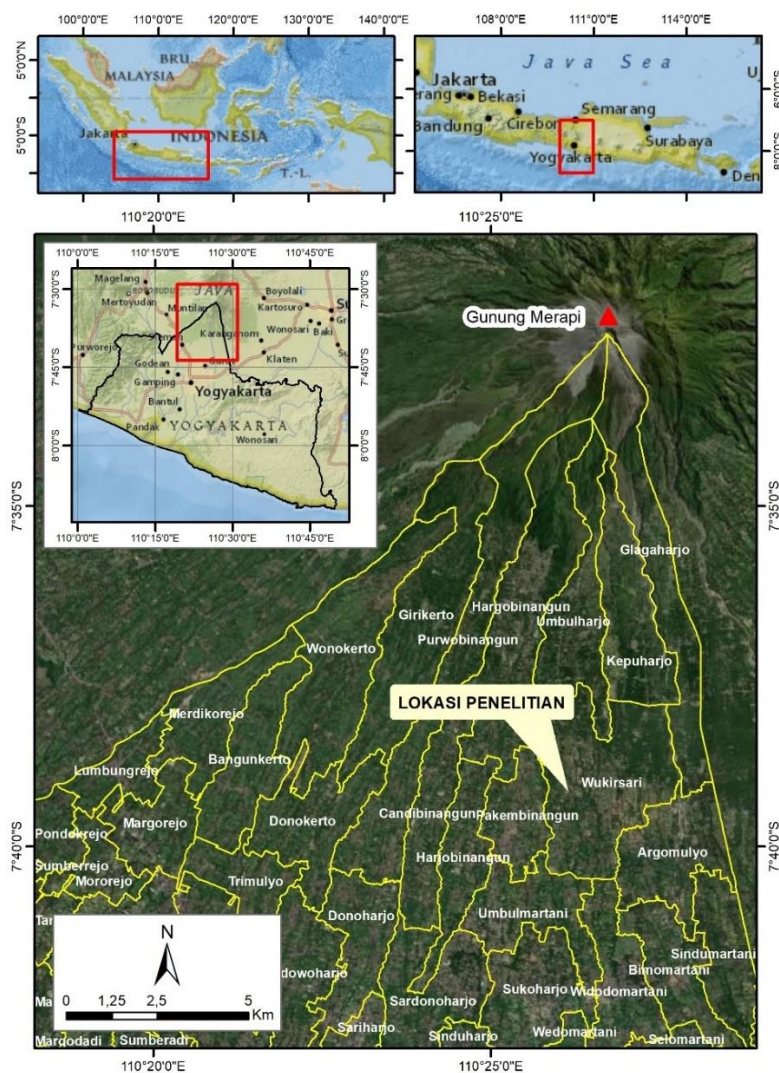
Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi perubahan sifat kimia tanah Entisols sawah setelah penerapan sistem budidaya organik dan membandingkannya

dengan sistem kimia, dan pengaruhnya terhadap perkembangan sifat agronomis dan produktivitas tanaman padi hingga lima tahun penerapan.

METODE PENELITIAN

Deskripsi Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Dusun Kiyaran, Wukirsari, Cangkringan, Sleman ($7^{\circ}39'29.8''S$ $110^{\circ}26'20.2''E$) dengan ketinggian tempat 462 mdpl (Gambar 1). Penelitian dilakukan selama 5 tahun dari tahun 2018 hingga 2023 di sawah irigasi yang menerapkan sistem pertanian kimiawi (450 m^2) dan sawah yang menerapkan pertanian organik (500 m^2). Varietas yang digunakan adalah INPARI 42. Sumber air irigasi yang digunakan berbeda, dan pada sawah yang menerapkan pertanian organik, input air ke sawah difilter menggunakan kolam eceng gondok. Jenis tanah pada lokasi penelitian adalah entisol dengan tekstur pasir berlempung. Status kepemilikan kedua lahan sawah berbeda, dengan praktik agronomis yang disajikan pada Tabel 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian di Desa Wukirsari

Tabel 1. Praktik Agronomis di Kedua Sistem Pertanian

Praktik agronomis	Sistem organik	Sistem kimia
Persiapan lahan	Seragam pada kedua sistem	Seragam pada kedua sistem
Pembibitan dan pindah tanam	Seragam; pembibitan menggunakan pupuk organik pada bedengan 200 × 150 cm	Seragam; pembibitan menggunakan pupuk organik pada bedengan 200 × 150 cm
Aplikasi pupuk	Jerami dan pupuk kandang sapi matang 10 t ha ⁻¹ , diaplikasikan setiap musim tanam	Urea 333.3 kg ha ⁻¹ , TSP 111.1 kg ha ⁻¹ , dan KCI 166.7 kg ha ⁻¹
Manajemen irigasi	Air irigasi dialirkan melalui kolam eceng gondok sebagai filter sebelum masuk ke petak	Air irigasi dialirkan langsung tanpa filtrasi
Pengendalian OPT	Pestisida nabati (fermentasi ekstrak mimba, gadung, bintaro, dan kecubung) serta pestisida hayati (<i>Beauveria bassiana</i>)	Pestisida kimia
Pengendalian gulma	Seragam pada kedua sistem	Seragam pada kedua sistem
Panen	Seragam pada kedua sistem	Seragam pada kedua sistem

Keterangan: praktik yang dinyatakan seragam menunjukkan bahwa prosedur budidaya diterapkan sama pada kedua sistem, kecuali pada komponen yang secara eksplisit dibedakan.

Pengumpulan Data dan Pengukuran Laboratorium

Sampel tanah awal diambil pada tahun 2018, yaitu sebelum lahan yang selanjutnya dikelola secara organik mulai menerapkan sistem pertanian organik. Pada tahap ini, kedua lahan masih berada dalam kondisi pengelolaan kimiawi, sehingga data awal digunakan sebagai dasar pembandingan untuk mengevaluasi perubahan sifat kimia tanah setelah penerapan sistem budidaya yang berbeda. Setelah sistem organik diterapkan, pengambilan sampel tanah pada lahan organik dilakukan kembali pada pertengahan musim tanam setelah 1, 3, dan 5 tahun penerapan. Pada lahan yang tetap dikelola secara kimia, pengambilan sampel juga dilakukan pada interval waktu yang sama, kemudian nilai hasil pengukuran dirata-ratakan untuk mewakili kondisi sistem kimia selama periode pengamatan.

Sampel tanah diambil secara diagonal dari lima titik pada setiap petak untuk mewakili kondisi tanah masing-masing sistem budidaya, dengan menghindari tepi lahan dan saluran air. Jumlah titik sampel dibuat sama agar pembandingan antara sistem kimia dan organik tetap setara, meskipun luas petak berbeda, yaitu 450 m² pada sistem kimia dan 500 m² pada sistem organik. Sampel diambil pada kedalaman 20–30 cm, kemudian lima sub-sampel dari setiap petak dikompositkan menjadi satu sampel gabungan. Sampel selanjutnya dikeringanginkan, dihaluskan, dan disaring menggunakan ayakan 2 mm sebelum dianalisis di laboratorium.

Parameter kimia tanah yang dianalisis meliputi pH H₂O, C-organik, bahan organik, kapasitas tukar kation (KTK), N-total, P-tersedia, K-tertukur, Ca-tertukur, Mg-tertukur, dan B-total. C-organik tanah ditentukan dengan metode oksidasi dikromat, sedangkan kadar bahan organik dihitung dengan mengonversi kadar C-organik menggunakan faktor 1,72. N-total dianalisis dengan metode Kjeldahl, dan KTK ditentukan menggunakan metode barium klorida–triethanolamine. P-tersedia dianalisis dengan metode Bray II. K-tertukur, Ca-tertukur, dan Mg-tertukur diekstraksi menggunakan NH₄OAc 1 M, kemudian ditentukan dengan fotometer dan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

Pengamatan Pertumbuhan Akar, Tajuk, dan Produksi

Semua variabel pertumbuhan akar, tajuk, dan produksi diamati pada tahun pertama, ketiga dan kelima setelah penerapan sistem pertanian organik maupun kimiawi. Variabel akar yang diamati adalah panjang akar maksimal dan densitas bobot kering akar. Panjang akar maksimal diamati dengan mengukur kedalaman maksimal akar di dalam tanah. Densitas bobot kering akar diamati dengan menggunakan rumus Hu et al. (2020):

$$\text{Densitas Bobot Kering Akar (mg cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{Bobot Kering Akar}}{\text{Volume Tanah yang Diambil}}$$

Variabel pertumbuhan tajuk yang diamati adalah tinggi tanaman, jumlah anakan produktif, jumlah malai per rumpun, jumlah gabah isi per malai, dan bobot 1000 gabah. Sebagai data fisiologis tambahan, klorofil total diamati pada saat pertumbuhan vegetatif maksimal dengan metode Coombs et al. (1985). Pada saat panen, gabah dikeringkan, ditimbang bobotnya dan dikonversi dalam produktivitas satuan ton/ha.

Analisis Data

Data dianalisis menggunakan analisis sidik ragam (ANOVA) dengan taraf kesalahan 5 %. Apabila terdapat perbedaan di antara tiap sistem pertanian, kemudian dilakukan analisis perbandingan rerata beda nyata terkecil (BNT/LSD) Fisher. Visualisasi data hasil uji BNT disajikan dalam bentuk diagram lolipop. Selisih perubahan setelah penerapan sistem organik dan anorganik divisualisasikan dalam bentuk *heatmap*. Analisis data dilakukan menggunakan aplikasi R dan Rstudio versi 4.5.2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat kimia tanah awal menunjukkan bahwa kedua lahan sawah memiliki kendala kesuburan yang secara umum sebanding sebelum penerapan sistem budidaya organik maupun kimia. Reaksi tanah pada kedua lahan tergolong masam, dengan pH 5,26 pada lahan yang selanjutnya dikelola secara organik dan 5,32 pada lahan yang tetap dikelola secara kimia. Kemiripan ini penting karena menunjukkan bahwa kedua sistem berangkat dari kondisi

kemasaman tanah yang hampir setara, sehingga memberikan dasar perbandingan yang relatif seimbang pada tahap-tahap pengamatan berikutnya. Pada lahan sawah, kondisi tanah yang masam dapat membatasi efisiensi pemanfaatan unsur hara tertentu, terutama fosfor dan beberapa kation basa, sehingga menjadi salah satu kendala awal yang relevan bagi pertumbuhan padi (Seck dkk., 2012).

Tabel 2. Sifat kimia tanah awal

Parameter	Sebelum perlakuan pupuk organik		Sebelum perlakuan pupuk kimia	
	Nilai	Kategori*	Nilai	Kategori*
pH aktual	5,26	Masam	5,32	Masam
C-organik tanah (%)	1,38	Rendah	1,47	Rendah
Bahan organik tanah (%)	1,75	Rendah	2,88	Rendah
Kapasitas tukar kation (Cmol(+)/Kg)	22,91	Tinggi	24,67	Tinggi
N-total (%)	1,78	Sangat tinggi	1,98	Sangat tinggi
P-tersedia (%)	0,14	Sangat rendah	0,19	Sangat rendah
K-tertukar (%)	0,65	Sangat rendah	0,78	Sangat rendah
Ca-tertukar (%)	0,38	Sangat rendah	0,42	Sangat rendah
Mg-tertukar (%)	0,33	Sangat rendah	0,39	Sangat rendah
B-total (%)	0,004	Sangat rendah	0,005	Sangat rendah

*) Dasar pengkategorian bersumber dari Petunjuk Teknis Analisa Kimia Tanah, BPSITP 2023

Status karbon organik tanah awal pada kedua lahan juga tergolong rendah, masing-masing sebesar 1,38% dan 1,47%. Demikian pula, kadar bahan organik tanah masih berada pada kategori rendah pada kedua lahan, meskipun nilainya secara numerik sedikit lebih tinggi pada lahan yang kemudian dikelola secara kimia. Kondisi ini menunjukkan bahwa kedua tanah pada awal penelitian masih memiliki cadangan bahan organik yang terbatas untuk mendukung fungsi-fungsi penting tanah, seperti penyanggaan hara, stabilitas agregat, aktivitas mikroba, dan pelepasan unsur hara secara bertahap (Le Mouël & Forslund, 2017). Kedua lahan pada dasarnya masih responsif terhadap intervensi pengelolaan yang bertujuan meningkatkan status bahan organik tanah.

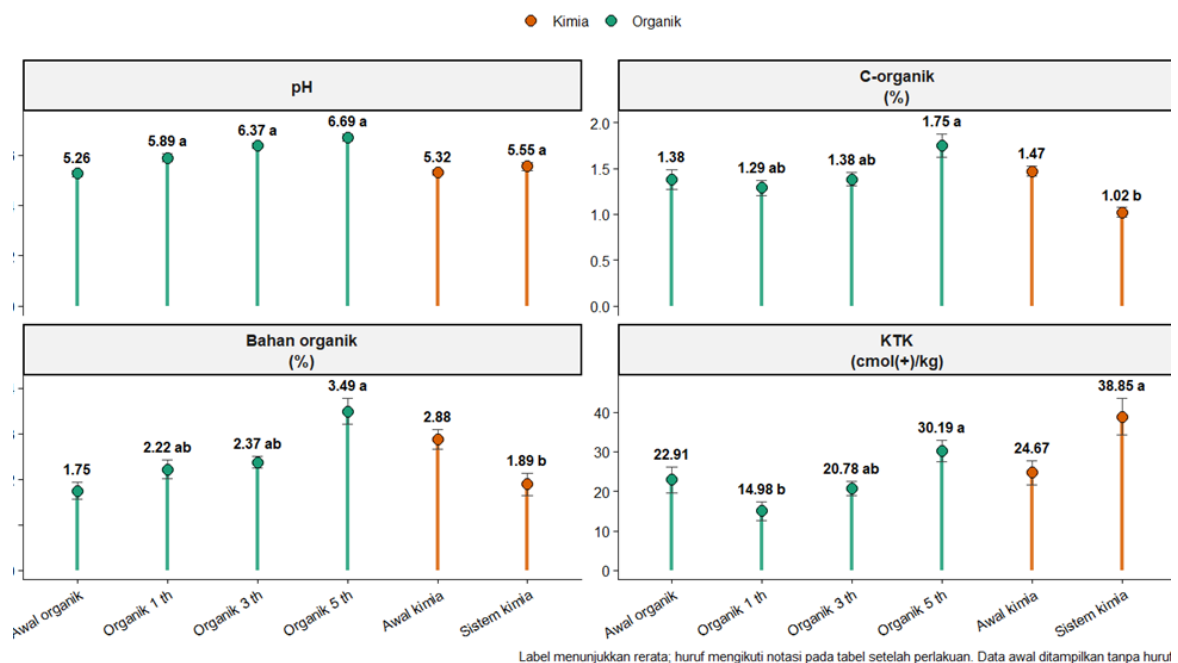
Berbeda dengan rendahnya karbon organik tanah, kapasitas tukar kation (KTK) pada kedua lahan sudah tergolong tinggi, yaitu 22,91 dan 24,67 cmol (+)/kg. Hal ini menunjukkan bahwa secara inheren tanah memiliki kemampuan yang relatif baik dalam menahan dan mempertukarkan kation. Namun, kapasitas penyangga kimia yang cukup baik tersebut belum diikuti oleh status ketersediaan unsur hara yang memadai, sebagaimana ditunjukkan oleh sangat rendahnya P-tersedia, K-tertukar, Ca-tertukar, Mg-tertukar, dan B-total. Pola ini mengindikasikan bahwa kendala utama pada kondisi awal tanah bukan terletak pada kapasitas tanah untuk menyerap hara, melainkan pada rendahnya ketersediaan hara esensial dalam sistem tanah.

N-total pada kedua lahan tergolong sangat tinggi, masing-masing sebesar 1,78% dan 1,98%. Meskipun hal ini menunjukkan adanya cadangan nitrogen total yang cukup besar, N-

total tidak selalu merepresentasikan nitrogen yang langsung tersedia bagi tanaman. Dalam sistem sawah, dinamika nitrogen sangat dipengaruhi oleh proses mineralisasi, kondisi redoks, transformasi mikroba, serta pengelolaan air. Tingginya N-total pada kondisi awal lebih tepat dipahami sebagai potensi cadangan hara, bukan sebagai indikator tunggal bahwa status hara nitrogen telah sepenuhnya optimal bagi pertumbuhan tanaman (Vasile Scăețeanu & Madjar, 2025).

Kondisi awal unsur hara lainnya semakin menegaskan bahwa kedua lahan masih menghadapi keterbatasan kimia yang cukup nyata. Fosfor tersedia berada pada kategori sangat rendah pada kedua lahan, demikian pula K-tertukar, Ca-tertukar, Mg-tertukar, dan B-total. Unsur-unsur tersebut berperan penting dalam perkembangan akar, pembentukan anakan, regulasi osmotik, aktivitas enzim, fotosintesis, dan metabolisme tanaman secara umum. Kondisi awal tanah pada lokasi penelitian dapat dicirikan sebagai tanah sawah yang masih masam, miskin bahan organik, dan memiliki ketersediaan beberapa unsur hara esensial yang rendah, meskipun memiliki kapasitas tukar kation yang relatif tinggi (Pampolino dkk., 2008).

Gambar 2 menunjukkan respons temporal sifat kimia tanah utama pada sistem pengelolaan organik serta perbandingannya dengan sistem kimia. Nilai pH tanah meningkat secara bertahap pada sistem organik, dari 5,89 pada tahun pertama menjadi 6,37 pada tahun ketiga dan 6,69 pada tahun kelima, sedangkan sistem kimia menunjukkan nilai yang lebih rendah, yaitu 5,55. Meskipun nilai-nilai tersebut tidak berbeda nyata secara statistik, tren peningkatan pada sistem organik menunjukkan adanya perbaikan reaksi tanah yang lebih kuat.

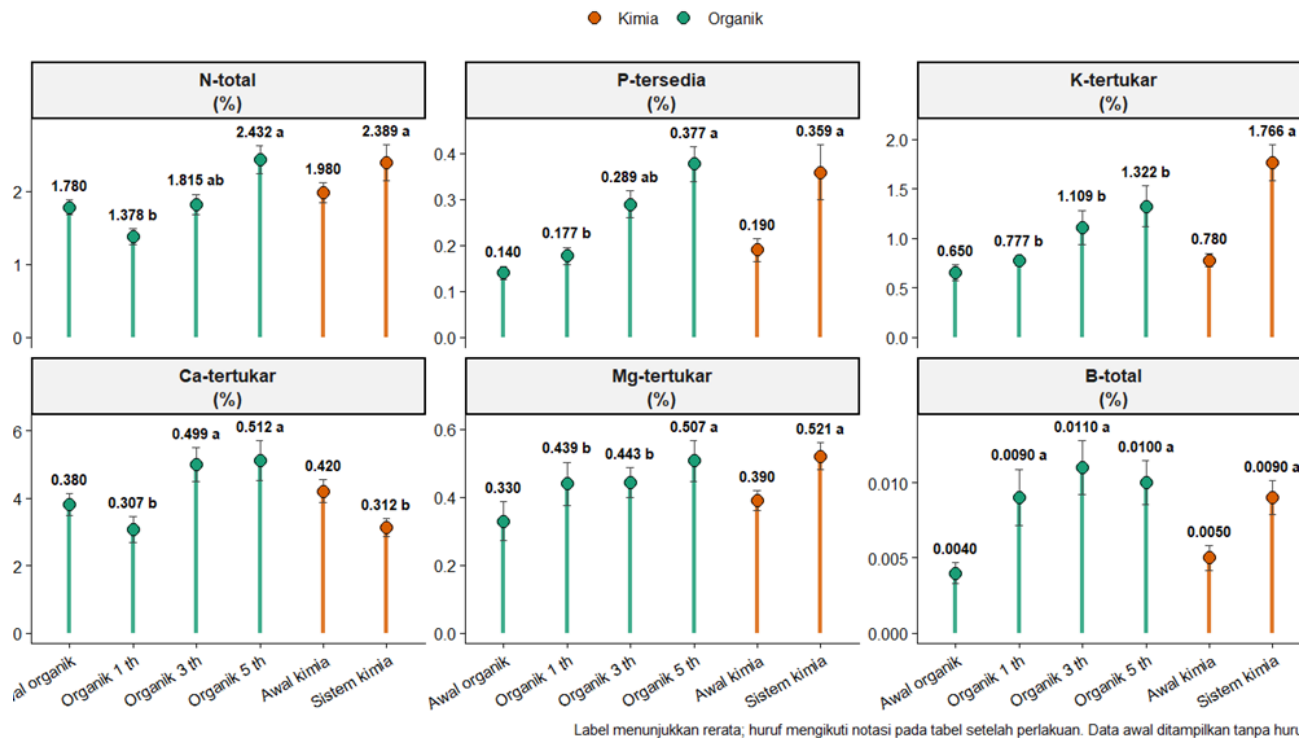


Gambar 2. Indikator kimia tanah utama

C-organik tanah dan bahan organik tanah menunjukkan respons yang lebih jelas terhadap pengelolaan organik. C-organik meningkat dari 1,29% pada tahun pertama menjadi 1,38% pada tahun ketiga dan mencapai 1,75% pada tahun kelima, sedangkan pada sistem kimia nilainya tetap lebih rendah, yaitu 1,02%. Pola serupa juga terlihat pada bahan organik tanah, yang meningkat dari 2,22% dan 2,37% pada tahun pertama dan ketiga menjadi 3,49% pada tahun kelima, dibandingkan dengan hanya 1,89% pada sistem kimia. Hasil ini menunjukkan bahwa pemberian input organik secara berulang mendorong akumulasi karbon tanah dan cadangan bahan organik secara bertahap, yang sangat penting bagi penyanggaan hara, aktivitas mikroba, dan kesuburan tanah jangka panjang (J. Liu dkk., 2021).

KTK menunjukkan respons yang lebih bervariasi. Pada sistem organik, KTK meningkat dari 14,98 cmol(+)/kg pada tahun pertama menjadi 20,78 cmol(+)/kg pada tahun ketiga dan 30,19 cmol(+)/kg pada tahun kelima. Namun demikian, sistem kimia masih menunjukkan nilai yang lebih tinggi, yaitu 38,85 cmol(+)/kg. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun pengelolaan organik mampu meningkatkan kapasitas tukar tanah seiring waktu, respons KTK bersifat lebih kompleks dan kemungkinan juga dipengaruhi oleh sifat inheren tanah serta status kejenuhan kation (Howe dkk., 2024). Keunggulan utama pengelolaan organik jangka panjang tercermin pada perbaikan bertahap pH tanah, C-organik, dan bahan organik tanah, sedangkan KTK juga mengalami peningkatan tetapi dengan laju yang lebih lambat (Hanudin dkk., 2025).

Gambar 3 menunjukkan perubahan sifat kimia tanah yang berkaitan dengan ketersediaan unsur hara pada sistem organik serta perbandingannya dengan sistem kimia. Sistem organik menunjukkan peningkatan bertahap pada sebagian besar unsur hara seiring lamanya penerapan, meskipun pola respons antarparameter tidak selalu sama (Iqbal dkk., 2022b). Beberapa unsur memperlihatkan peningkatan yang progresif hingga tahun kelima, sedangkan unsur lainnya menunjukkan bahwa sistem kimia masih mempertahankan nilai yang lebih tinggi. Pengelolaan organik memberikan perbaikan bertahap terhadap ketersediaan hara, tetapi efektivitasnya bergantung pada jenis unsur dan dinamika transformasinya di dalam tanah.



Gambar 3. Perubahan ketersediaan unsur hara

N-total menunjukkan kecenderungan meningkat seiring waktu pada sistem organik, dari 1,378% pada tahun pertama menjadi 1,815% pada tahun ketiga dan mencapai 2,432% pada tahun kelima. Nilai ini sangat mendekati sistem kimia yang sebesar 2,389%, dan secara statistik keduanya berada pada kelompok huruf yang sama. Hasil ini menunjukkan bahwa setelah lima tahun, sistem organik mampu membangun cadangan nitrogen tanah hingga setara dengan sistem kimia. Peningkatan N-total dimungkinkan berkaitan dengan akumulasi bahan organik dan mineralisasi bertahap nitrogen dari input organik (Y. Liu dkk., 2025), sehingga sistem organik tidak hanya memperbaiki status nitrogen tanah, tetapi juga berpotensi menjaga ketersediaannya secara lebih berkelanjutan (Susanti dkk., 2024).

P-tersedia juga meningkat secara nyata pada sistem organik, dari 0,177% pada tahun pertama menjadi 0,289% pada tahun ketiga dan 0,377% pada tahun kelima. Nilai tersebut sedikit lebih tinggi dibandingkan sistem kimia yang sebesar 0,359%, dan secara statistik keduanya juga berada pada kelompok huruf yang sama. Aplikasi bahan organik secara berulang mampu meningkatkan ketersediaan fosfor tanah hingga menyamai, bahkan sedikit melampaui, sistem kimia. Pengaruh bahan organik dalam waktu yang panjang dapat mengurangi fiksasi fosfor, memperbaiki reaksi tanah, dan meningkatkan aktivitas biologis yang mendukung pelepasan fosfor ke dalam larutan tanah (Huang dkk., 2021).

Berbeda dengan nitrogen dan fosfor, K-tertukur menunjukkan pola yang berbeda. Pada sistem organik, kandungan K-tertukur meningkat dari 0,777% pada tahun pertama menjadi 1,109% pada tahun ketiga dan 1,322% pada tahun kelima. Meskipun demikian, nilai

tersebut masih lebih rendah dibandingkan sistem kimia yang mencapai 1,766%, dan secara statistik sistem kimia berada pada kelompok huruf yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun pengelolaan organik mampu meningkatkan kandungan kalium tanah secara bertahap, sistem kimia masih lebih unggul dalam mempertahankan atau menyediakan K-tertukar dalam jangka pendek hingga menengah. Aplikasi pupuk kimia yang mengandung K terlarut, umumnya memberikan respons yang lebih cepat terhadap status kalium tanah dibandingkan input organik yang melepaskan unsur hara secara lebih bertahap (J. Liu dkk., 2021).

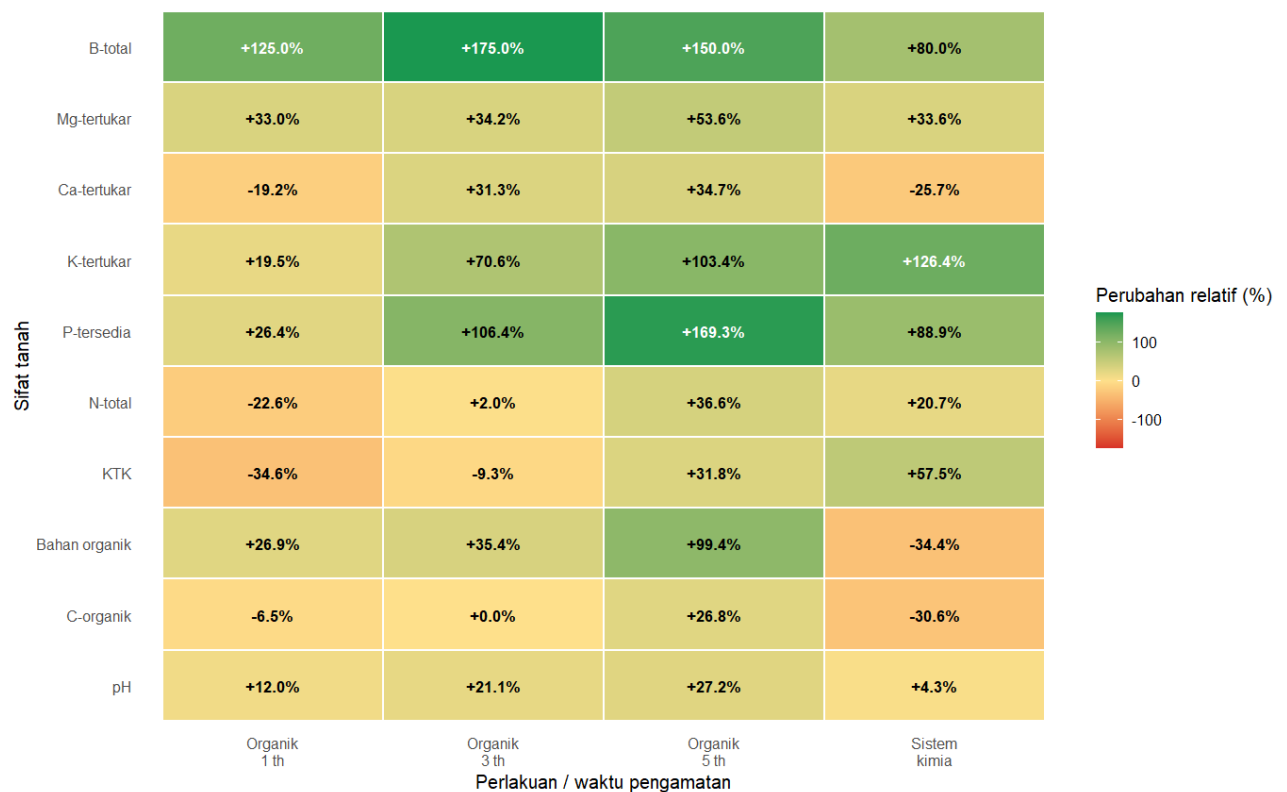
Sebaliknya, Ca-tertukar memperlihatkan respons yang lebih menguntungkan pada sistem organik. Nilai Ca-tertukar meningkat dari 0,307% pada tahun pertama menjadi 0,499% pada tahun ketiga dan 0,512% pada tahun kelima, sedangkan sistem kimia hanya menunjukkan nilai 0,312%. Pada tahun ketiga dan kelima pada sistem organik berada pada kelompok huruf yang lebih tinggi dibandingkan tahun pertama dan sistem kimia. Hasil pengelolaan organik akan lebih efektif dalam meningkatkan kandungan Ca-tertukar dibandingkan sistem kimia. Peningkatan Ca ini kemungkinan terkait dengan masuknya kation basa dari bahan organik dan membaiknya reaksi tanah (Ernest dkk., 2024), sehingga posisi kalsium pada kompleks jerapan tanah menjadi lebih stabil.

Mg-tertukar menunjukkan pola respons yang agak transisional. Pada sistem organik, nilainya meningkat dari 0,439% pada tahun pertama menjadi 0,443% pada tahun ketiga dan 0,507% pada tahun kelima, sedangkan sistem kimia menunjukkan nilai sedikit lebih tinggi, yaitu 0,521%. Secara statistik, tahun kelima sistem organik dan sistem kimia berada pada kelompok huruf yang sama, sedangkan tahun pertama dan ketiga organik berada pada kelompok yang lebih rendah. Aplikasi sistem organik sawah membutuhkan waktu lebih lama untuk meningkatkan Mg-tertukar hingga mendekati sistem kimia, tetapi pada tahun kelima perbedaannya menjadi tidak nyata. Seperti pada nitrogen dan fosfor, pengelolaan organik menunjukkan potensi yang kuat untuk mendekati kinerja sistem kimia setelah periode penerapan yang cukup panjang (Tang dkk., 2022).

B-total memperlihatkan pola yang paling stabil di antara seluruh unsur yang diamati. Pada sistem organik, nilainya berkisar antara 0,009–0,011%, sedangkan sistem kimia menunjukkan nilai 0,009%. Seluruh nilai tersebut berada pada kelompok huruf yang sama, yang menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan nyata antarwaktu maupun antar sistem. Walaupun demikian, adanya sedikit peningkatan numerik pada sistem organik menunjukkan bahwa input organik setidaknya mampu mempertahankan status boron tanah, meskipun belum menghasilkan perubahan yang cukup besar untuk membedakannya secara statistik dari sistem kimia (Atique-ur-Rehman dkk., 2018). Hal ini dapat mengindikasikan bahwa dinamika boron di tanah sawah relatif lebih stabil atau kurang responsif terhadap perlakuan

dibandingkan unsur-unsur lain yang lebih mobile atau lebih terkait dengan akumulasi bahan organik.

Gambar 4 merangkum perubahan relatif seluruh sifat kimia tanah terhadap kondisi awal masing-masing sistem, sehingga memberikan gambaran sintetik mengenai arah dan besarnya respons tanah selama periode pengamatan. Secara umum, sistem organik menunjukkan pola peningkatan yang semakin kuat dari tahun pertama menuju tahun kelima, menandakan bahwa respons tanah terhadap input organik bersifat kumulatif. Pada fase awal, beberapa parameter masih menunjukkan penurunan relatif, seperti C-organik, N-total, Ca-tertukar, dan KTK, yang mengindikasikan bahwa transisi menuju sistem organik belum langsung menghasilkan perbaikan pada semua komponen kimia tanah. Pada tahun ketiga dan terutama tahun kelima, hampir seluruh variabel menunjukkan perubahan relatif positif, yang menegaskan bahwa manfaat pengelolaan organik menjadi lebih nyata setelah berlangsung dalam jangka menengah.



Gambar 4. Perubahan relatif seluruh sifat tanah

Bahan organik merupakan indikator kimia tanah utama yang menunjukkan respons paling kuat pada sistem organik, dengan peningkatan hampir dua kali lipat pada tahun kelima dibandingkan kondisi awal. C-organik juga mengalami pemulihan bertahap setelah sedikit menurun pada tahun pertama, sedangkan pH meningkat secara konsisten sepanjang waktu pengamatan. KTK menunjukkan respons yang lebih lambat, dengan penurunan awal sebelum akhirnya meningkat pada tahun kelima. Proses perbaikan kimia tanah melalui sistem organik

tidak terjadi secara seragam, tetapi berlangsung bertahap melalui proses akumulasi bahan organik, transformasi karbon, dan penyesuaian kompleks pertukaran kation tanah (Ernest dkk., 2024).

Pada kelompok unsur hara, peningkatan paling mencolok terjadi pada P-tersedia, K-tertukar, dan B-total, yang menunjukkan bahwa pengelolaan organik sangat efektif dalam memperbaiki status hara tertentu setelah diterapkan secara berulang. Ca-tertukar dan Mg-tertukar juga meningkat, meskipun Ca menunjukkan fase awal penurunan sebelum pulih pada tahun-tahun berikutnya. Respons N-total cenderung lebih lambat, yang mengindikasikan bahwa dinamika nitrogen lebih erat berkaitan dengan proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik dibandingkan unsur lain yang lebih cepat merespons perubahan kondisi tanah (Noviyanto dkk., 2017).

Perbaikan sifat kimia tanah pada sistem organik selanjutnya tercermin pada perkembangan beberapa sifat agronomis tanaman padi, khususnya pada parameter yang berkaitan dengan sistem perakaran dan pembentukan komponen hasil (Tabel 4). Kepadatan berat akar kering meningkat dari $0,48 \pm 0,02 \text{ g cm}^{-3}$ pada tahun pertama dan $0,45 \pm 0,03 \text{ g cm}^{-3}$ pada tahun ketiga menjadi $0,54 \pm 0,02 \text{ g cm}^{-3}$ pada tahun kelima, dan nilainya telah setara dengan sistem kimia yang mencapai $0,55 \pm 0,03 \text{ g cm}^{-3}$. Pola serupa juga terlihat pada panjang akar, yang meningkat menjadi $29,8 \pm 1,9 \text{ cm}$ pada tahun kelima dan tidak berbeda nyata dengan sistem kimia sebesar $30,4 \pm 2,1 \text{ cm}$. Hasil ini menunjukkan bahwa setelah lima tahun, sistem organik mampu menciptakan lingkungan tanah yang lebih mendukung perkembangan sistem perakaran, sehingga kapasitas tanaman dalam mengeksplorasi air dan unsur hara menjadi semakin baik (Riddech dkk., 2025).

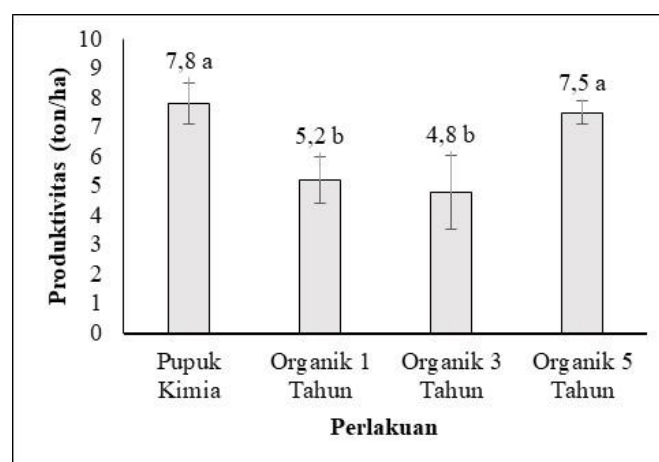
Tabel 4. Perkembangan sifat agronomis tanaman padi

Karakteristik	Pupuk organik			Pupuk kimia
	5 Tahun	3 Tahun	1 Tahun	
Kepadatan berat akar kering (g.cm^{-3})	$0,54 \pm 0,02 \text{ a}$	$0,45 \pm 0,03 \text{ c}$	$0,48 \pm 0,02 \text{ b}$	$0,55 \pm 0,03 \text{ a}$
Panjang akar (cm)	$29,8 \pm 1,9 \text{ a}$	$27,0 \pm 2,0 \text{ b}$	$28,5 \pm 1,8 \text{ b}$	$30,4 \pm 2,1 \text{ a}$
Tinggi tanaman (cm)	$83,8 \pm 5,0 \text{ a}$	$85,2 \pm 4,8 \text{ a}$	$88,1 \pm 4,5 \text{ a}$	$85,4 \pm 5,2 \text{ a}$
Jumlah anakan produktif	$13,8 \pm 1,4 \text{ ab}$	$9,5 \pm 1,2 \text{ b}$	$10,2 \pm 1,3 \text{ b}$	$14,6 \pm 1,5 \text{ a}$

Berbeda dengan parameter akar, tinggi tanaman tidak menunjukkan perbedaan nyata antarperlakuan maupun antarwaktu pengamatan. Pada sistem organik, tinggi tanaman berada pada kisaran 83,8–88,1 cm, sedangkan pada sistem kimia mencapai 85,4 cm. Stabilitasnya tinggi tanaman ini menunjukkan bahwa respons pertumbuhan vertikal tanaman relatif tidak sensitif terhadap perbedaan sistem pengelolaan dalam penelitian ini. Sebaliknya, jumlah anakan produktif menunjukkan respons yang lebih nyata terhadap perbaikan kondisi tanah. Pada sistem organik, jumlah anakan produktif meningkat dari $10,2 \pm 1,3$ pada tahun pertama dan $9,5 \pm 1,2$ pada tahun ketiga menjadi $13,8 \pm 1,4$ pada tahun kelima, mendekati sistem kimia yang mencapai $14,6 \pm 1,5$. Peningkatan ini sangat penting karena jumlah anakan

produktif merupakan salah satu komponen hasil utama yang menentukan produktivitas akhir tanaman padi (Noviyanto dkk., 2025).

Respons agronomis tersebut kemudian terkonfirmasi pada hasil panen yang disajikan pada Gambar 5. Produktivitas padi pada sistem organik menunjukkan tren peningkatan yang jelas seiring lamanya penerapan. Pada tahun pertama, produktivitas baru mencapai 5,2 ton ha⁻¹, kemudian sedikit menurun menjadi 4,8 ton ha⁻¹ pada tahun ketiga, tetapi meningkat tajam menjadi 7,5 ton ha⁻¹ pada tahun kelima. Nilai ini tidak berbeda nyata dengan sistem kimia yang menghasilkan 7,8 ton ha⁻¹. Pola ini menunjukkan bahwa pada fase awal transisi, sistem organik belum mampu menghasilkan produktivitas setara dengan sistem kimia, tetapi setelah lima tahun penerapan, sistem organik mampu menyamai hasil panen yang dicapai oleh sistem kimia (Hanudin dkk., 2025).



Gambar 5. Produktivitas padi

KESIMPULAN

Penerapan sistem organik selama lima tahun pada tanah sawah Entisols mampu memperbaiki sifat kimia tanah secara bertahap, terutama pH, C-organik, bahan organik, P-tersedia, Ca-tertukar, dan Mg-tertukar. Perbaikan tersebut diikuti oleh peningkatan sifat agronomis tanaman padi, khususnya perkembangan akar dan jumlah anakan produktif. Pada tahun kelima, produktivitas padi pada sistem organik mencapai 7,5 ton ha⁻¹ dan tidak berbeda nyata dengan sistem kimia sebesar 7,8 ton ha⁻¹. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem organik efektif dalam mengukur perbaikan kesuburan tanah dan mampu menghasilkan produktivitas padi dalam jangka panjang, sehingga berpotensi menjadi strategi budidaya padi yang lebih berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Atique-ur-Rehman, Farooq, M., Rashid, A., Nadeem, F., Stuerz, S., Asch, F., Bell, R. W., & Siddique, K. H. M. (2018). Boron nutrition of rice in different production systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(3), 25. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0504-8>
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Kabupaten Sleman dalam Angka 2024*. Badan Pusat Statistik Sleman.
- Coombs, J., Hall, D. O., Long, S. P., & Scurlock, J. M. O. (1985). *Techniques in Bioproductivity and Photosynthesis*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-06092-6>
- Cui, N., Cai, M., Zhang, X., Abdelhafez, A. A., Zhou, L., Sun, H., Chen, G., Zou, G., & Zhou, S. (2020). Runoff loss of nitrogen and phosphorus from a rice paddy field in the east of China: Effects of long-term chemical N fertilizer and organic manure applications. *Global Ecology and Conservation*, 22, e01011. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01011>
- 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>
- Fageria, N. K., Dos Santos, A. B., & Moraes, M. F. (2010). Influence of Urea and Ammonium Sulfate on Soil Acidity Indices in Lowland Rice Production. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41(13), 1565–1575. <https://doi.org/10.1080/00103624.2010.485237>
- Hanudin, E., Kautsar, V., & Sunarminto, B. H. (2025). Implication of organic farming practice in changes in physical-chemical properties of plough pan layer in paddy soils. *International Agrophysics*, 39(1), 61–72. <https://doi.org/10.31545/intagr/195907>
- Herawati, A., MujiYo, M., Dewi, W. S., SyamsiYah, J., & Romadhon, M. R. (2023). Improving microbial properties in Psamments with mycorrhizal fungi, amendments, and fertilizer. *Eurasian Journal of Soil Science (EJSS)*, 13(1), 59–69. <https://doi.org/10.18393/ejss.1396572>
- Howe, J. A., McDonald, M. D., Burke, J., Robertson, I., Coker, H., Gentry, T. J., & Lewis, K. L. (2024). Influence of fertilizer and manure inputs on soil health: A review. *Soil Security*, 16, 100155. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2024.100155>
- Hu, Y., Ma, P., Wu, S., Sun, B., Feng, H., Pan, X., Zhang, B., Chen, G., Duan, C., Lei, Q., Siddique, K. H. M., & Liu, B. (2020). Spatial-temporal distribution of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) roots and water use efficiency under ridge–furrow dual mulching. *Agricultural Water Management*, 240, 106301. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106301>
- Huang, Y., Dai, Z., Lin, J., Qi, Q., Luo, Y., Dahlgren, R. A., & Xu, J. (2021). Contrasting effects of carbon source recalcitrance on soil phosphorus availability and communities of phosphorus solubilizing microorganisms. *Journal of Environmental Management*, 298, 113426. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113426>
- Iqbal, A., He, L., Ali, I., Yuan, P., Khan, A., Hua, Z., Wei, S., & Jiang, L. (2022a). Partial Substitution of Organic Fertilizer With Chemical Fertilizer Improves Soil Biochemical Attributes, Rice Yields, and Restores Bacterial Community Diversity in a Paddy Field. *Frontiers in Plant Science*, 13, 895230. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.895230>
- Iqbal, A., He, L., Ali, I., Yuan, P., Khan, A., Hua, Z., Wei, S., & Jiang, L. (2022b). Partial Substitution of Organic Fertilizer with Chemical Fertilizer Improves Soil Biochemical Attributes, Rice Yields and Restores Bacterial Community Diversity in a Paddy Field. *Frontiers in Plant Science*, 13, 895230. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.895230>
- Irawan, S., & Antriandarti, E. (2021). Physical deterioration of soil and rice productivity in rural Java. *Journal of Physics: Conference Series*, 1825(1), 012103. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1825/1/012103>

- Jin, Z., Shah, T., Zhang, L., Liu, H., Peng, S., & Nie, L. (2020). Effect of straw returning on soil organic carbon in rice–wheat rotation system: A review. *Food and Energy Security*, 9(2), e200. <https://doi.org/10.1002/fes3.200>
- Kusumawati, A., & Noviyanto, A. (2025). Long-term effects of sugarcane monoculture on soil pedomorphology and physicochemical properties in tropical agroecosystems. *Plant, Soil and Environment*, 71(3), 213–231. <https://doi.org/10.17221/648/2024-PSE>
- Le Mouél, C., & Forslund, A. (2017). How can we feed the world in 2050? A review of the responses from global scenario studies. *European Review of Agricultural Economics*, 44(4), 541–591. <https://doi.org/10.1093/erae/jbx006>
- Liu, J., Shu, A., Song, W., Shi, W., Li, M., Zhang, W., Li, Z., Liu, G., Yuan, F., Zhang, S., Liu, Z., & Gao, Z. (2021). Long-term organic fertilizer substitution increases rice yield by improving soil properties and regulating soil bacteria. *Geoderma*, 404, 115287. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115287>
- Liu, Y., Xiao, J., Lan, X., Ji, J., Hou, H., Chen, L., & Lv, Z. (2025). Organic Manure with Chemical Fertilizers Improves Rice Productivity and Decreases N₂O Emissions by Increasing Soil Nitrogen Sequestration. *Agronomy*, 15(8), 1783. <https://doi.org/10.3390/agronomy15081783>
- Mariyono, J., Kuntariningsih, A., Suswati, E., & Kompas, T. (2018). Quantity and monetary value of agrochemical pollution from intensive farming in Indonesia. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 29(4), 759–779. <https://doi.org/10.1108/MEQ-03-2017-0030>
- Meemken, E.-M., & Qaim, M. (2018). Organic Agriculture, Food Security, and the Environment. *Annual Review of Resource Economics*, 10(1), 39–63. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100517-023252>
- Murphy, B. W. (2015). Impact of soil organic matter on soil properties—A review with emphasis on Australian soils. *Soil Research*, 53(6), 605. <https://doi.org/10.1071/SR14246>
- Noviyanto, A. (2024). Characterization and Classification of Soils in Landslide Residual Zones to Estimate the Presence of Shallow Slip Plane. *JOURNAL OF TROPICAL SOILS*, 30(1), 53–60. <https://doi.org/10.5400/jts.2025.v30i1.53-60>
- Noviyanto, A., Jaya, G. I., Handru, A., Avianto, Y., Kautsar, V., Suryanti, S., Krisdiarto, A. W., Mawardi, R., Martini, T., & Aziz, A. (2025). Enhancing rice productivity and mitigating greenhouse gas emissions through manure maturity and water management in paddy soils. *Journal of Ecological Engineering*, 26(4), 313–322. <https://doi.org/10.12911/22998993/200277>
- Noviyanto, A., Purwanto, P., Minardi, S., & Supriyadi, S. (2017). The assessment of soil quality of various age of land reclamation after coal mining: A chronosequence study. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 05(01), 1009–1018. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2017.051.1009>
- Pampolino, M. F., Laureles, E. V., Gines, H. C., & Buresh, R. J. (2008). Soil Carbon and Nitrogen Changes in Long-Term Continuous Lowland Rice Cropping. *Soil Science Society of America Journal*, 72(3), 798–807. <https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0334>
- Riddech, N., Theerakulpisut, P., Ma, Y. N., & Sarin, P. (2025). Bioorganic fertilizers from agricultural waste enhance rice growth under saline soil conditions. *Scientific Reports*, 15(1), 8979. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-93619-9>
- Seck, P. A., Diagne, A., Mohanty, S., & Wopereis, M. C. S. (2012). Crops that feed the world 7: Rice. *Food Security*, 4(1), 7–24. <https://doi.org/10.1007/s12571-012-0168-1>
- 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>
- Tang, S., Nguyen-Sy, T., Cheng, W., Sato, C., Tawarayama, K., Shiono, H., & Kumagai, K. (2022). Long-term application of fused magnesium phosphate and calcium silicate change soil chemical properties, C decomposition and N mineralization in a single rice paddy field of Northeastern Japan. *Soil Science and Plant Nutrition*, 68(1), 149–157. <https://doi.org/10.1080/00380768.2021.2010025>

- Vasile Scăețeanu, G., & Madjar, R. M. (2025). The Control of Nitrogen in Farmlands for Sustainability in Agriculture. *Sustainability*, 17(12), 5619. <https://doi.org/10.3390/su17125619>
- Wei, W., Yan, Y., Cao, J., Christie, P., Zhang, F., & Fan, M. (2016). Effects of combined application of organic amendments and fertilizers on crop yield and soil organic matter: An integrated analysis of long-term experiments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 225, 86–92. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.04.004>