

Dampak Pertanian Organik dan Konvensional pada Biodiversitas dan Sifat Kimia Tanah pada Budi Daya Tanaman Padi Sawah (Impact of Organic and Conventional Farming on Biodiversity and Chemical Properties of Soil in Lowland Rice Cultivation)

Lilik Tri Indriyati^{1*}, Sugeng Santoso², Enjeline Irianti³

(Diterima Juni 2023/Disetujui Mei 2024)

ABSTRAK

Fenomena pelandaian produktivitas lahan pertanian dan kerusakan lingkungan yang terjadi sebagai dampak negatif dari pemakaian pupuk dan pestisida kimia yang berlebihan mendorong berkembangnya sistem pertanian organik sebagai alternatif sistem pertanian yang dapat menghasilkan produk yang bebas dari cemaran bahan kimia sintetik serta menjaga lingkungan yang lebih sehat. Penelitian dilakukan mulai Oktober sampai Desember 2022, dengan contoh tanah di lahan sawah milik petani di Kabupaten Tegal yang melaksanakan sistem pertanian organik (Desa Cawitali) dan konvensional atau non-organik (Desa Jembayat). Contoh tanah diambil secara komposit dari kedalaman tanah 0 sampai 20 cm dari permukaan tanah dengan menggunakan bor tanah pada lahan padi sawah dengan kedua sistem tersebut setelah panen. Sifat kimia tanah yang dianalisis ialah C-organik (Walkley and Black), N-total (Kjeldahl), KTK dan basa-basa tanah (Ca_{dd} , Mg_{dd} , K_{dd} , dan Na_{dd}), P-total (25% HCl), dan P-tersedia (Bray I), sedangkan sifat biologi tanah yang diamati adalah jumlah total populasi mikroba dan fungi. Hasil analisis tanah menunjukkan bahwa sifat kimia serta sifat biologi tanah relatif lebih tinggi pada tanah sawah organik dibandingkan tanah sawah konvensional. Total fungi pada tanah sawah organik lebih rendah daripada sawah konvensional. Status hara C-organik dan N-total pada sawah organik cenderung meningkat dibandingkan dengan sawah konvensional, yaitu masing-masing dari sangat rendah menjadi rendah dan dari rendah menjadi sedang, sedangkan status hara lainnya yang diamati cenderung relatif tidak berubah. Secara umum sifat biologi dan kimia tanah pada sistem pertanian organik lebih baik dibandingkan dengan pertanian konvensional.

Kata kunci: pelandaian produktivitas, pertanian organik, pertanian konvensional, status hara

ABSTRACT

The phenomenon of leveling off and environmental degradation that occurs as a negative impact of the excessive use of chemical fertilizers and pesticides encourages the development of organic farming systems that can produce crop yields that are not contaminated and free from synthetic chemicals and maintain a healthier environment. The research was conducted from October to December 2022 by taking soil samples from farmers' paddy fields in Tegal Regency using an organic (Cawitali Village) and conventional or non-organic (Jembayat Village) farming system. Composite soil samples were taken from a soil depth of 0 to 20 cm from the soil surface using a soil drill on lowland rice fields with organic farming systems and conventional farming after harvest. The analysis of the chemical properties of the soil carried out was C-organic (Walkley and Black), N-total (Kjeldahl), CEC and soil bases (exch-Ca, exch-Mg, exch-K, and exch-Na), total P (25% HCl) and available P (Bray I), while the observed soil biological properties were the total number of microbial and fungal populations. The results showed that organic paddy soil's chemical and biological properties were relatively higher than conventional paddy soil's. Total fungi in organic lowland soils were lower than in conventional paddy fields. The nutrient status of C-organic and N-total in organic rice fields tended to increase compared to conventional rice fields, namely from very low to low and low to moderate, respectively. In contrast, the other nutrient statuses observed tended to remain relatively unchanged. Generally, soil biological and chemical properties were better in organic farming than in conventional farming systems.

Keywords: leveling off, organic farming, conventional farming, nutrient status

¹ Departemen IlmuTanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB University, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

² Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB University, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

³ Mahasiswa Program Sarjana, Departemen IlmuTanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB University, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

* Penulis korespondensi: Email: lilikin@apps.ipb.ac.id

PENDAHULUAN

Revolusi hijau memberi hasil nyata pada upaya pemenuhan kebutuhan pangan melalui penggunaan pupuk kimia sintetik, penanaman varietas unggul berproduksi tinggi (*high yield variety*), dan penggunaan pestisida. Namun, dampak negatif dari pemakaian pupuk dan pestisida kimia yang berlebihan mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan dan kesehatan manusia.

Akibatnya, lahan-lahan pertanian di Indonesia menunjukkan gejala pelandaian (*levelling off*) produktivitas tanaman. Sebagaimana diungkapkan oleh Departemen Pertanian (2004), banyak petani mengeluh karena aplikasi jenis dan dosis pupuk tidak lagi memengaruhi produksi tanamannya. Aplikasi pupuk dan pestisida kimia sintetik secara terus-menerus dan dalam jumlah yang semakin meningkat menyebabkan menurunnya sifat-sifat biologi dan fisiko-kimia tanah, yang selanjutnya juga meningkatkan degradasi tanah. Kemungkinan terjadinya kekebalan terhadap patogen merupakan salah satu fenomena yang berkaitan dengan aplikasi pestisida dalam jangka waktu lama (R4P Network 2016). Fenomena pelandaian produktivitas lahan pertanian dan kerusakan lingkungan yang terjadi mendorong berkembangnya sistem pertanian organik sebagai alternatif sistem pertanian yang dapat menghasilkan produk yang bebas dari cemaran bahan kimia sintetik serta menjaga lingkungan yang lebih sehat. Secara legal, pemerintah melalui Peraturan Pemerintah RI No. 6/1995 Pasal 4 menegaskan bahwa "Perlindungan tanaman dilaksanakan dengan menggunakan sarana dan cara yang tidak mengganggu kesehatan dan atau mengancam keselamatan manusia, menimbulkan gangguan dan kerusakan sumber daya alam atau lingkungan hidup". Selanjutnya, Peraturan Menteri Pertanian No. 64/Permentan/OT.140/5/2013 tentang Sistem Pertanian Organik Pasal 1 menyatakan bahwa yang dimaksudkan dengan sistem pertanian organik adalah sistem pengelolaan produksi secara holistik yang mendorong dan meningkatkan kesehatan agroekosistem, termasuk biodiversitas, siklus hayati, dan aktivitas hayati tanah. Sistem pertanian ini menekankan praktik pengelolaan selain mengutamakan penggunaan input dari limbah kegiatan budi daya di lahan, juga dapat memanfaatkan input dari luar pertanian yang mempertimbangkan bahwa kondisi regional membutuhkan sistem yang sudah disesuaikan secara lokal. Hal ini dicapai dengan menggunakan, jika mungkin, metode-metode agronomi, biologi, dan mekanis yang bertentangan dengan penggunaan bahan-bahan sintetik, untuk memenuhi fungsi spesifik apa pun di dalam sistem tersebut (FAO/WHO Codex Alimentarius Commission 1999). Pertanian organik berupaya meniru atau mengikuti proses alami yang cenderung memperbaiki kesehatan tanah dan tanaman sekaligus melestarikan sumber daya tanah dan air (Gomiero et al. 2011). Pemeliharaan kualitas dan kesehatan tanah merupakan landasan gerakan pertanian organik.

Budi daya organik dapat meningkatkan kesuburan tanah melalui rotasi tanaman, penanaman kacang-kacangan (legum) dan penggunaan pupuk organik, dan pada saat yang sama melarang penggunaan pupuk dan pestisida sintesis untuk menjaga sistem pertanian berkelanjutan (Aulak et al. 2022; Gomiero et al. 2011). Salah satu manfaat utama dari budi daya organik bagi

tanah adalah meningkatkan kandungan karbon organik tanah sehingga struktur dan kesuburan tanah menjadi lebih baik (Tong et al. 2022). Kandungan bahan organik tanah bergantung pada keseimbangan antara masukan dan keluaran bahan organik melalui dekomposisi. Praktik-praktik pertanian, terutama pengolahan tanah secara intensif, aplikasi pestisida dan pupuk kimia, serta pertanian monokultur, secara langsung dan tidak langsung berdampak buruk bagi kehidupan mikroba tanah. Akibatnya mengarah pada gangguan fungsi-fungsi ekosistem tanah (pada proses yang dimediasi oleh mikroba tanah) dan penurunan produktivitas tanah (Gouda et al. 2017). Sebagian mikroba tanah adalah heterotrof dan mereka membutuhkan bahan organik sebagai sumber karbon (C) dan energi (Shannon et al. 2002). Produktivitas dan daya dukung tanah bergantung pada aktivitas mikroba tanah dan hal ini juga didukung oleh pernyataan Fließbach et al. (2007) bahwa tanah berperan penting dalam menentukan pengelolaan lahan secara berkelanjutan, karena tanah merupakan faktor mendasar dalam produksi makanan. Mikroba tanah berperan penting dalam mempertahankan kesuburan dan kualitas tanah (Zhang et al. 2010), yakni dalam proses pembentukan tanah, daur ulang hara tanaman, ketersediaan hara bagi tanaman (*bioavailability*), detoksifikasi lingkungan, serta menekan patogen tanaman, hama, dan gulma. Oleh karena itu, khususnya praktik pengelolaan yang memanipulasi kualitas dan kuantitas input organik, dapat diharapkan untuk memodifikasi populasi mikroba tanah, jaringan makanan tanah (*soil food web*), dan proses-proses biologi yang terlibat dalam transformasi hara tanaman (Stockdale et al. 2002). Banyak penulis menggunakan jumlah mikroba, keragamannya, aktivitas biokimia dan enzimatik untuk menilai dampak dari metode budi daya tanah yang berbeda pada agroekosistem. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi dampak pertanian organik dan pertanian konvensional pada biodiversitas dan sifat kimia tanah dalam budi daya tanaman padi sawah.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi

Penelitian dilaksanakan mulai Oktober–Desember 2022, dengan contoh tanah diambil secara sengaja di lahan sawah milik petani di Kabupaten Tegal, yaitu di Desa Cawitali (Kecamatan Bumijawa) untuk sistem pertanian organik dan di Desa Jembayat (Kecamatan Margasari) untuk sistem konvensional atau non-organik. Selanjutnya, masing-masing disebut dengan Sawah Organik dan Sawah Konvensional. Budi daya padi sawah organik di Desa Cawitali ini telah berjalan selama tiga tahun. Sifat kimia tanah dianalisis di Laboratorium Kimia Tanah dan sifat biologi tanah (total mikroba, total fungi, mikroba pelarut fosfat) ditetapkan di Laboratorium Biologi

Tanah, Fakultas Pertanian, IPB. Aktivitas enzim fosfatase diukur di Laboratorium Pengujian Pusat Penelitian Kelapa Sawit Unit Bogor.

Metode

Contoh tanah dikumpulkan secara komposit dari kedalaman tanah 0 sampai 20 cm dari permukaan tanah pada lahan padi sawah dengan sistem pertanian organik dan pertanian konvensional setelah panen. Contoh tanah mewakili wilayah yang akan diuji dan lahan-lahan tersebut berada pada pengelolaan lahan dan penampakan relief yang serupa. Selain itu, dicatat pula sejarah penggunaan lahan dan hal-hal lain yang berkaitan dengan penggunaan lahan, misalnya sistem pertanaman yang digunakan (tumpangsari, rotasi, atau monokultur) dan pengelolaan hara yang diterapkan oleh petani selama ini.

Satu contoh tanah komposit mewakili suatu luasan tertentu (lebih kurang 1 ha) yang terdiri atas 3–5 anak contoh tanah (*subsamples*) yang dikumpulkan dari titik-titik pengambilan contoh tanah secara acak sederhana (*simple random sampling*) untuk mewakili wilayah tersebut. Anak contoh tanah tersebut selanjutnya dicampur secara merata dan kemudian dilakukan *quartering* untuk mendapatkan satu contoh tanah komposit yang mewakili setiap sistem budi daya sawah (organik dan non-organik), dan dari setiap sistem budi daya sawah tersebut terdapat empat ulangan sehingga total diperoleh delapan contoh tanah. Untuk mendapatkan anak contoh tanah pada kedalaman yang tepat, digunakan bor tanah. Bahan tanah yang sudah dikumpulkan, selanjutnya dikeringudarkan dan disaring sehingga lolos saringan 2 mm untuk selanjutnya digunakan untuk penetapan sifat kimia tanah. Analisis sifat kimia tanah meliputi C-organik (metode Walkley and Black), N-total (metode Kjeldahl), KTK dan basa-basa tanah (pengekstraksi NH_4 asetat 1M), P-total (25% HCl), dan P-tersedia (metode Bray I). Adapun sifat biologi tanah yang diamati adalah jumlah total populasi mikroba dan fungi masing-masing dengan metode *plate count* dengan ekstrak tanah (Trolldenier 1995) dan medium Martin Agar (Martin 1950), mikroba pelarut P, juga aktivitas enzim fosfatase.

Untuk analisis sifat biologi tanah dan aktivitas enzim tanah, contoh tanah dalam kondisi tanpa

dikeringudarkan dimasukkan ke dalam kantong plastik dan segera disimpan di tempat sejuk (kotak es atau lemari es) sampai menjelang analisis. Perlakuan meliputi pertanaman padi sawah dengan dua sistem budi daya, yaitu organik dan konvensional. Untuk perlindungan tanaman terhadap hama dan penyakit tanaman pada sistem pertanian organik, petani telah mendapat pelatihan dan pendampingan penggunaan insektisida hayati dari Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB.

Analisis Data

Data hasil analisis biologi dan kimia tanah selanjutnya dianalisis dengan uji statistika *t*. Perbandingan sifat kimia dan biologi tanah antara sawah dengan budi daya organik dan konvensional ditampilkan dalam grafik dan tabel, serta dibedakan menurut kriteria status sifat kimia tanah dari Balittanah (2005).

HASIL DAN PEMBAHASAN

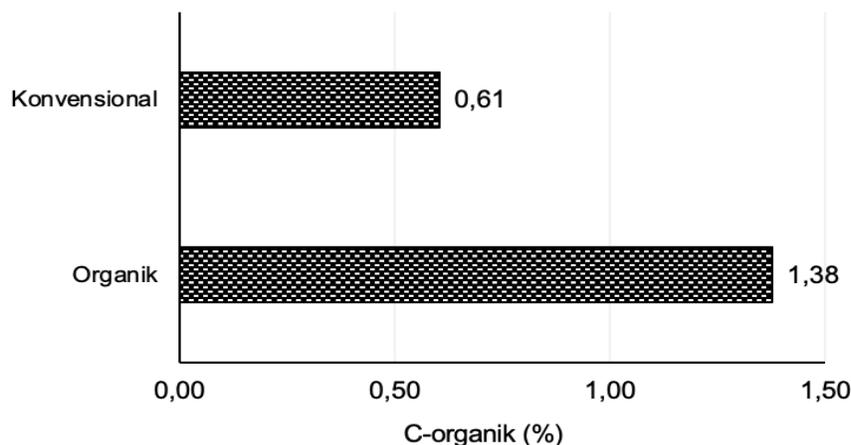
Dampak Pertanian Organik pada Beberapa Sifat Kimia Tanah Sawah

Hasil pengukuran sifat kimia pada tanah sawah organik dan konvensional disajikan pada Tabel 1. Rerata kandungan C-organik pada sistem budi daya sawah secara organik dan non-organik (Gambar 1) sawah organik nyata lebih tinggi dibandingkan dengan sawah konvensional, namun keduanya masih termasuk pada kriteria rendah (Balittanah 2005). Pada sawah konvensional umumnya tidak diaplikasikan bahan organik ke lahan sawah. Petani lebih mengutamakan pupuk buatan terutama pupuk nitrogen seperti urea (hasil wawancara). Petani sawah organik umumnya mendapatkan bahan organik dari jerami padi pada panen sebelumnya yang dikembalikan lagi ke lahan pada awal persiapan tanah untuk pertanaman padi berikutnya. Namun, kandungan C-organik pada tanah sawah organik yang masih termasuk dalam kriteria rendah ini diduga karena selain hanya satu macam bahan organik yang dikembalikan lagi ke lahan, yaitu jerami padi, juga karena jumlah jerami padi yang bisa dikembalikan lagi ke lahan sangat terbatas, yang hanya mengandalkan jerami sisa panen padi, yang kadangkala sebagian dari sisa

Tabel 1 Kandungan basa dapat-ditukar, KTK, dan KB tanah sawah organik dan sawah konvensional

Sifat kimia tanah	Tanah sawah organik	Tanah sawah konvensional
Ca_{dd} (cmol _c /kg) ^{tn}	23,87 (ST)	16,56 (T)
Mg_{dd} (cmol _c /kg) ^{tn}	4,55 (T)	4,56 (T)
K_{dd} (cmol _c /kg) [*]	0,81 (T)	0,64 (T)
Na_{dd} (cmol _c /kg) ^{**}	0,39 (S)	0,23 (R)
KTK (cmol _c /kg) [*]	36,95 (T)	30,17 (T)
KB (%) ^{tn}	79,10 (ST)	72,80 (ST)

Keterangan: tn = Tidak berbeda nyata, * = Berbeda nyata pada selang kepercayaan 95%, dan ** = Berbeda sangat nyata pada selang kepercayaan 99%.



Gambar 1 Kandungan C-organik (*) pada Budi daya Sawah Organik dan Konvensional (Keterangan: SR = sangat rendah, R = rendah, dan * = berbeda nyata pada taraf nyata 5%).

panen padi dimanfaatkan untuk pakan ternak. Namun, bila dibandingkan dengan sawah konvensional, tanah sawah organik menunjukkan kandungan C-organik nyata lebih tinggi daripada -organik pada sawah konvensional. Semakin besar dan atau semakin sering pemberian bahan organik ke tanah, semakin meningkat kandungan karbon (C) tanah. Bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah ini akan menjadi sumber bahan organik tanah yang sangat berperan, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam perbaikan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah serta lingkungan. Menurut Fertcare (2022), C-organik tanah adalah komponen kunci dari *pool* bahan organik tanah, yang mencakup semua komponen organik dari tanah seperti jaringan tanaman dan hewan dalam berbagai tingkat dekomposisi. Bahan organik tanah mengandung unsur-unsur yang penting seperti karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), kalsium (Ca), nitrogen (N), fosforus (P), sulfur (S), dan unsur-unsur lainnya yang ditemukan dalam organisme hidup (Fertcare 2022). Kandungan C-organik yang meningkat merupakan salah satu petunjuk yang baik dari penyerapan karbon (*carbon sequestration*) dalam tanah melalui penurunan jumlah CO₂ yang dilepas ke atmosfer. Karbon tanah sangat berkaitan dengan kualitas dan produktivitas tanah. Karbon tanah merupakan sumber hara dan energi bagi mikroba tanah yang membantu proses mineralisasi hara sehingga menjadi tersedia bagi tanaman, memperbaiki kapasitas tukar kation (KTK, kemampuan menahan kation-kation hara), dan kemampuan menahan air dalam tanah. Di samping itu, karbon tanah membantu meningkatkan pembentukan struktur tanah dan stabilitas agregat sehingga dapat menurunkan risiko terjadinya erosi tanah, dan meningkatkan daya sangga tanah (*soil buffer*) terhadap kemasaman tanah (Fertcare 2022). Dalam budi daya sawah, peran karbon tanah lebih pada perbaikan kesuburan tanah dari sifat kimia dan biologi

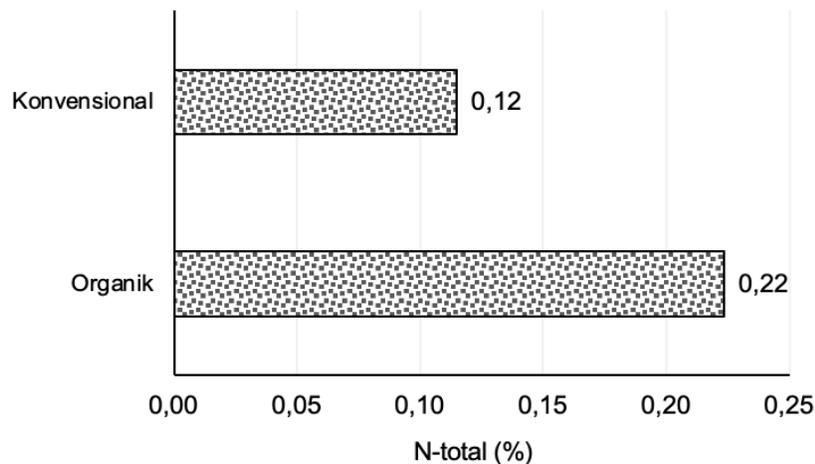
tanah karena dalam proses penyawahan struktur tanah menjadi rusak melalui proses pelumpuran.

Kandungan nitrogen total (N-total) pada tanah sawah organik dan tanah sawah konvensional ditunjukkan pada Gambar 2. Kandungan N-total tanah sawah organik termasuk kategori sedang dan nyata lebih tinggi dibandingkan dengan tanah sawah konvensional. Kandungan N-total tanah sawah konvensional termasuk kategori rendah. Nitrogen penting bagi semua kehidupan. Tanaman membutuhkan N untuk tumbuh dan menghasilkan benih. Sumber utama N dalam tanah adalah berasal dari bahan organik, dan umumnya bahan organik berasal dari sisa-sisa tanaman dan hewan. Data N-total ini menunjukkan total kandungan N yang sebagian besar dalam bentuk senyawa organik, dan hara N ini baru dapat dimanfaatkan oleh tanaman dan organisme yang hidup dalam tanah setelah diubah dari bentuk N-organik menjadi N-anorganik (N-NH₄⁺ dan N-NO₃⁻) melalui proses mineralisasi dan nitrifikasi oleh bakteri. Nitrogen diambil oleh akar tanaman untuk pembentukan enzim, protein, dan klorofil. Hasil analisis memperlihatkan bahwa bahan organik yang secara konsisten diaplikasikan ke dalam tanah pada sawah organik mampu meningkatkan kandungan N-total dari rendah menjadi sedang. Peningkatan kandungan N-total ini sangat menguntungkan bagi tanaman padi sawah organik yang semata-mata hanya mengandalkan hara yang berasal dari bahan organik. Hasil tanaman yang dibudidayakan secara organik terutama sangat dibatasi oleh ketersediaan N (Seufert *et al.* 2012) dan biasanya hasil tanaman pada pertanian organik lebih rendah daripada hasil tanaman pada sistem konvensional. Dengan demikian, pengembalian sisa-sisa tanaman atau bahan organik yang mengandung N cukup banyak ke dalam tanah menjadi sangat penting, karena tidak semua bahan organik mengandung N dalam kadar tinggi. Bahan organik dengan kandungan N yang rendah atau dengan

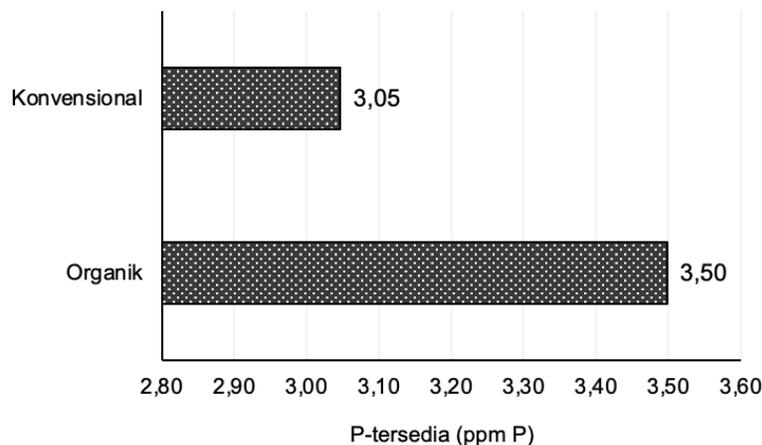
nisbah C/N tinggi sering menyebabkan kekurangan N pada masa awal tanam karena terjadinya imobilisasi N.

Hasil uji t menunjukkan bahwa P-tersedia pada kedua sistem budi daya sawah tersebut tidak berbeda nyata. Namun, Gambar 3 menunjukkan bahwa kandungan P-tersedia dalam tanah sawah organik relatif lebih tinggi dibandingkan dengan tanah sawah konvensional; kandungan P-tersedia dalam tanah sawah organik masih tergolong rendah. Hal ini diduga karena dosis aplikasi bahan organik yang selama tiga tahun sejak diterapkannya sistem pertanian organik di Desa Cawitali masih termasuk rendah karena hanya mengandalkan sisa-sisa panen padi atau jerami pada pertanaman sebelumnya sebab kadang kala sebagian sisa panen padi dimanfaatkan untuk pakan ternak. Dengan kata lain, dosis aplikasi dan jumlah jenis bahan organik perlu ditingkatkan agar hara-hara yang diperlukan tanaman terutama hara N, P, K, dapat tersedia dan memenuhi

kebutuhan tanaman padi. Bila kebutuhan hara tanaman padi terpenuhi dari aplikasi bermacam jenis bahan organik, maka hasil tanaman padi dapat meningkat. P-tersedia adalah salah satu *pool*/P yang terdiri atas P yang larut dalam air atau larutan tanah, yang segera dapat diambil oleh tanaman. Kandungan P-tersedia dalam tanah ini dapat mengindikasikan kemampuan tanah mensuplai P untuk memenuhi kebutuhan tanaman. Menurut The Alabama Cooperative Extension System (2019), salah satu faktor yang mengendalikan ketersediaan P dalam tanah adalah bahan organik. Tambahan bahan organik akan meningkatkan ketersediaan P dalam tanah. Peningkatan P-tersedia dalam tanah dengan menambahkan bahan organik terjadi karena adanya sumbangan ion-ion P terlarut dari hasil mineralisasi bahan organik ke dalam larutan tanah. Selain itu, pada tanah-tanah yang banyak mengandung mineral klei 1:1 seperti kaolinit dan oksida dan hidroksida



Gambar 2 Kandungan N-total (**) pada budi daya sawah organik dan konvensional. S = sedang, R = rendah, dan ** = berbeda sangat nyata pada taraf 1%).



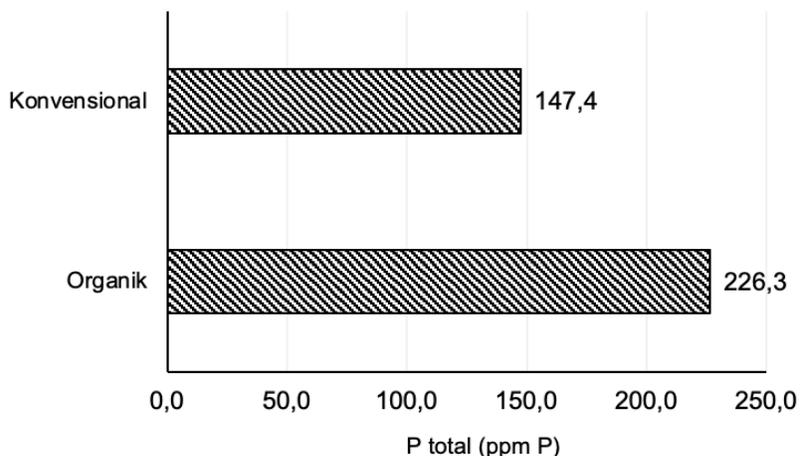
Gambar 3 Kandungan P-tersedia (^{tn}) pada Budi daya Sawah Organik dan Konvensional. ^{tn} = tidak berbeda nyata.

Al dan Fe, molekul-molekul organik (anion organik) yang dihasilkan selama dekomposisi bahan organik akan bersaing dengan anion-anion fosfat yang terjerap pada permukaan mineral klei tersebut dan selanjutnya akan menurunkan retensi fosfat pada koloid tanah, dan melepaskan fosfat ke larutan tanah. Penambahan bahan organik ke dalam tanah secara terus-menerus pada budi daya sawah secara organik juga meningkatkan cadangan P-organik dan aktivitas biologi tanah yang mendorong mineralisasi bahan organik tanah (Nesme *et al.* 2014), yang selanjutnya meningkatkan P- tersedia.

Di alam diketahui P berada dalam sejumlah bentuk senyawa kimia dengan kelarutan dan ketersediaan yang berbeda-beda. Dalam tanah-tanah pertanian, fosforus ditemukan dalam dua bentuk, yaitu P-organik dan P-anorganik, dengan P-organik adalah bentuk yang dominan (Turner *et al.* 2002; Condrón *et al.* 2005; Kong *et al.*, 2009; Richardson *et al.*, 2011). Kedua bentuk P ini secara bersama-sama membentuk P-total tanah. Kandungan P total tanah sawah, baik sawah organik maupun sawah konvensional, termasuk kategori sangat tinggi. Namun, dibandingkan antara kedua sistem budi dayanya, hasil uji *t* menunjukkan kandungan P-total dalam sawah organik nyata lebih tinggi dibandingkan dengan sawah konvensional (Gambar 4). Hal ini diduga karena ada sumbangan bahan organik yang diaplikasikan setiap menjelang masa tanam pada sawah organik sehingga meningkatkan juga kandungan P-total tanah. Kandungan P-total tanah pada sawah organik terutama berasal dari sumbangan bentuk P-organik. Sebagian besar dari bentuk P-organik ini berada dalam bentuk P-fitat dan dalam jumlah yang lebih sedikit adalah sebagai ester fosfat seperti fosfolipid (Turner *et al.* 2007; Richardson *et al.* 2011). P-fitat yang tinggi dalam tanah ialah karena kelarutannya yang rendah dan kestabilannya yang tinggi sehingga afinitasnya pada

koloid tanah juga tinggi (George *et al.* 2005; Tang *et al.* 2006). Bentuk-bentuk ini merupakan bentuk yang tidak tersedia bagi tanaman. Ketersediaan P untuk dapat diserap oleh tanaman merupakan resultan dari sejumlah proses yang terjadi dalam tanah, yang terutama adalah mobilisasi P-anorganik, mineralisasi P-organik, imobilisasi P, dan laju difusi P. Semua proses ini dipengaruhi dan dimediasi oleh beberapa aktivitas biokimia dan mikrobiologi.

Kandungan basa-basa dapat-ditukar, KTK, dan kejenuhan basa (KB) tanah pada sawah organik dan konvensional ditunjukkan pada Tabel 2. Berdasarkan sifat-sifat kimia tanah yang dipakai untuk mengevaluasi status kesuburan tanah (Tabel 3, Gambar 1, dan Gambar 3) secara umum mengindikasikan kesuburan tanah pada budi daya padi sawah secara organik dan konvensional termasuk kategori sedang. Secara umum kandungan basa-basa dapat-ditukar (Ca_{dd} , K_{dd} , dan Na_{dd}), kejenuhan basa (KB), dan KTK pada tanah sawah organik relatif lebih tinggi dibandingkan dengan tanah sawah konvensional. Peningkatan kandungan basa-basa Ca_{dd} , terutama K_{dd} , dan Na_{dd} diduga berasal dari hasil akumulasi dekomposisi jerami padi yang diaplikasikan ke dalam tanah. Meningkatnya jumlah basa dapat-ditukar ini meningkatkan proporsi kation-kation basa yang dijerap pada kompleks jerapan koloid tanah. Demikian juga dengan nilai KTK yang lebih tinggi pada tanah sawah organik dibandingkan dengan sawah konvensional, terutama disumbangkan dari koloid organik, yaitu humus yang merupakan hasil akhir dari dekomposisi bahan organik, terutama jerami padi, yang terakumulasi di dalam tanah. Bahan organik memiliki KTK yang sangat tinggi, berkisar antara 250 dan 400 $cmol_c/kg$ (Moore 1998). KTK adalah sifat tanah yang sangat penting yang memengaruhi stabilitas struktur tanah, ketersediaan unsur hara, pH tanah, dan reaksi



Gambar 4 Kandungan P-total (*) pada Budi daya Sawah Organik dan Konvensional. ST = sangat tinggi dan * = berbeda nyata pada taraf nyata 5%).

tanah terhadap pupuk dan bahan amelioran lainnya. Tanah dengan KTK tinggi akan menjerap ion bermuatan positif (kation) dalam jumlah yang lebih banyak sehingga peluang hara tercuci dari tanah lebih kecil, dan ketersediaan hara bagi tanaman meningkat, dan umumnya lebih mampu menahan air dibandingkan dengan tanah dengan KTK rendah.

Dampak Pertanian Organik pada Beberapa Sifat Biologi Tanah Sawah

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi dampak sistem pertanian organik pada budi daya padi sawah dibandingkan dengan sistem konvensional terhadap biodiversitas tanah. Sifat mikrobiologi tanah yang diukur adalah total mikrob, total fungi, pelarut fosfat, dan enzim fosfatase. Hasilnya (Tabel 2) menggambarkan bahwa total mikrob, mikrob pelarut fosfat, dan enzim fosfatase pada tanah sawah organik cenderung lebih tinggi dibandingkan sawah konvensional. Sebaliknya, total fungi nyata lebih besar pada tanah sawah konvensional daripada tanah sawah organik. Peningkatan jumlah total mikrob, mikrob pelarut fosfat, dan enzim fosfatase terjadi karena penambahan bahan organik yang konsisten ke lahan-lahan sawah organik yang merupakan sumber makanan dan energi bagi mikrob tanah. Total fungi lebih tinggi pada tanah sawah konvensional diduga karena tingkat kemasaman tanah sawah konvensional lebih tinggi (secara tidak langsung ditunjukkan oleh KB dan jumlah basa-basa yang lebih rendah) yang merupakan kondisi ekologi yang sesuai untuk perkembangan fungi dalam tanah. Tingkat kemasaman yang lebih tinggi ini diduga sebagai akibat dari penggunaan pupuk N buatan, seperti urea, yang secara terus-menerus ditambahkan ke dalam tanah.

Fosforus adalah hara esensial makro kedua setelah nitrogen yang banyak dibutuhkan oleh tanaman. Walaupun jumlahnya tinggi dalam tanah (Gambar 4), ketersediaannya dalam tanah sangat rendah, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 3, yakni P-tersedia pada kedua sistem termasuk rendah. Pontensi P-total dalam tanah organik tersebut dapat merangsang mikroa pelarut P lebih aktif. Menurut McGill & Cole (1981) mekanisme utama pelarutan P oleh mikrob tanah mencakup: (1) pelepasan senyawa-senyawa yang dapat mengkompleks komponen tanah yang mengikat P atau yang dapat melarutkan mineral, misalnya anion-anion asam organik, siderofor, proton-proton, ion-ion hidroksil, dan CO₂; (2) pembebasan enzim-enzim ekstraseluler (mineralisasi P secara biokimia), dan (3) pelepasan P

selama degradasi substrat atau bahan organik (mineralisasi P secara biologi).

Enzim fosfatase dalam tanah dihasilkan oleh mikrob tanah dan akar tumbuhan. Fungsi enzim tersebut adalah berperan dalam proses mineralisasi P, yaitu mengubah P-organik menjadi P-anorganik dalam bentuk tersedia sehingga dapat diserap dan dimetabolisme oleh sel-sel akar tumbuhan maupun mikrob (Bums 1982). Enzim fosfatase di tanah dijumpai sebagai enzim ekstraseluler dan aktivitasnya sensitif terhadap perubahan lingkungan menjadikannya indikator yang representatif untuk kesuburan tanah. Hasil pengukuran aktivitas enzim fosfatase menunjukkan bahwa enzim fosfatase pada sawah organik relatif lebih tinggi dibandingkan dengan sawah konvensional. Ini berarti penambahan bahan organik secara terus-menerus pada sawah organik meningkatkan *pool* organik dari karbon (C) yang berhubungan dengan hara-hara terutama N dapat dipertahankan di zona rizosfer sehingga bahan organik tanah dan aktivitas enzim di zona rizosfer dapat dipertahankan. Selain itu, aktivitas enzim yang lebih tinggi dalam sistem sawah organik juga disumbang oleh input organik yang ditambahkan ke dalam tanah, meningkatkan eksudasi akar karena pertumbuhan tanaman yang membaik dan lingkungan yang kondusif untuk perkembangbiakan mikrob (Burns *et al.* 2013; Tamilselvi *et al.* 2015). Sebaliknya dengan tanah sawah konvensional yang tidak atau jarang mendapat tambahan bahan organik ke dalam tanah dan hanya mendapatkan input pupuk buatan. Ini diduga menghambat aktivitas fosfatase karena menurunnya karbon-tersedia dan pengaruh sterilisasi dari potensial osmotik larutan tanah akibat meningkatnya garam-garam pupuk. Kondisi ini menurunkan aktivitas fosfatase.

Berdasarkan parameter KTK, KB, C-organik, P-tersedia, dan basa-basa dapat-ditukar, secara umum status kesuburan tanah dari lahan sawah yang dibudidayakan secara organik dan konvensional termasuk sedang. Semua sifat kimia tanah (C-organik, N-total, P-tersedia, P-total, basa-basa dapat-ditukar, KB, dan KTK) dan sifat biologi tanah (total mikrob, mikrob pelarut fosfat, dan enzim fosfatase) menunjukkan nilai yang lebih tinggi pada sawah yang dibudidayakan secara organik dibandingkan dengan sawah konvensional. Namun, dari beberapa parameter yang diamati, hanya kandungan C-organik yang status haranya meningkat dari sangat rendah menjadi rendah dan status hara N meningkat dari rendah menjadi sedang pada sawah organik, sementara parameter lainnya relatif tetap. Hal

Tabel 2 Sifat biologi pada tanah sawah organik dan sawah konvensional

Sifat biologi tanah	Tanah sawah organik	Tanah sawah konvensional
Total mikrob ($\times 10^4$ CFU/g) ^{tn}	3,21	2,94
Total fungi ($\times 10^4$ CFU/g) ^{**}	0,11	0,38
Pelarut fosfat ($\times 10^3$ CFU/g) ^{tn}	0,46	0,35
Fosfatase (mU/kg) ^{tn}	0,50	0,23

ini terutama karena status kesuburan tanah di kedua desa tersebut termasuk sedang dan daya sangga tanah (yang ditunjukkan oleh nilai KTK tanah) termasuk tinggi, sehingga untuk meningkatkan ke status hara yang lebih tinggi diperlukan input dengan jumlah yang lebih tinggi. Perubahan status hara C-organik pada budi daya padi sawah secara organik yang cenderung tetap pada kriteria rendah ini diduga karena aplikasi bahan organik hanya bergantung pada sisa hasil panen padi, yaitu jerami padi, yang jumlahnya terbatas dan tanpa tambahan jenis bahan organik lainnya untuk dapat memenuhi kebutuhan hara tanaman lainnya seperti N. Jerami padi umumnya mengandung C-organik dan K yang tinggi tetapi kandungan N rendah. Dengan demikian, untuk dapat memenuhi kebutuhan hara lainnya, terutama N, masih harus ditambahkan ke dalam tanah sawah dari bahan organik yang banyak mengandung N, seperti azolla atau tanaman dari keluarga legum. Tambahan bahan organik dari beberapa jenis nisbah C/N yang berbeda-beda, dapat mempercepat proses mineralisasi bahan organik yang sesuai dengan tahap pertumbuhan tanaman padi, dan memperkaya kandungan hara yang dibutuhkan oleh tanaman padi yang dibudidayakan secara organik. Hal ini perlu dilakukan karena padi sawah organik hanya mengandalkan hara yang dikandung oleh bahan organik yang diaplikasikan ke lahan sawah tersebut.

KESIMPULAN

Hasil analisis tanah menunjukkan bahwa sifat kimia (C-organik, N-total, P-tersedia, P-total, KTK, KB, basa-basa dapat-ditukar) serta sifat biologi tanah (total mikrob, mikrob pelarut fosfat, dan enzim fosfatase) relatif lebih tinggi pada tanah sawah organik dibandingkan tanah sawah konvensional. Total fungi pada tanah sawah organik lebih rendah daripada sawah konvensional. Status hara C-organik dan N-total pada sawah organik cenderung meningkat dibandingkan dengan sawah konvensional, yaitu masing-masing dari sangat rendah menjadi rendah dan dari rendah menjadi sedang, sedangkan status hara lainnya yang diamati cenderung relatif tidak berubah. Berdasarkan hasil kajian ini, disimpulkan bahwa sifat kimia dan sifat biologi pada tanah sawah organik dengan pengelolaan selama tiga tahun lebih baik dibandingkan dengan tanah sawah konvensional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Disampaikan ucapan terima kasih kepada Pemerintah Daerah Kabupaten Tegal yang telah membiayai kegiatan penelitian ini melalui kegiatan

Insentif Penelitian Kabupaten Tegal Tahun 2022 Kategori Dosen.

DAFTAR PUSTAKA

- Alabama Cooperative Extension System. 2019. Phosphorus Basics: Understanding phosphorus forms and their cycling in the soil. [internet]. https://www.aces.edu/wp-content/uploads/2019/04/ANR-2535-Phosphorus-Basics_041719L.pdf. [Diakses pada: 25 Desember 2022].
- Aulakh CS, Sharma S, Thakur M, Kaur P. 2022. A review of the influences of organic farming on soil quality, crop productivity and produce quality. *Journal of Plant Nutrition*. 45(12): 1884–905. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2027976>
- Balittanah [Balai Penelitian Tanah]. 2005. Petunjuk Analisis Tanah, Air, Pupuk, dan Tanaman. Bogor: Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Jakarta (ID).
- Burns RG, DeForest JL, Marxsen J, Sinsabaugh RL, Stromberger ME, Wallemstein MD. 2013. Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions. *Soil Biol. Biochem*. 32: 1547–1559. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.11.009>
- Codron LM, Turner BI, Cade-Menun BJ. 2005. Chemistry and dynamics of soil organic phosphorus. Dalam *Phosphorus: Agriculture and the Environment*, eds J. T. Sims and A.N. Sharpley (Madison, WI: American Society of Agronomy), 87–121. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr46.c4>
- Extension University of Missouri. 2022. Nitrogen in environment: Nitrogen cycle. [internet]. <https://extension.missouri.edu/publications/wq252>. [Diakses pada: 25 Desember 2022].
- FAO/WHO Codex Alimentarius Commission. 1999. Organic Agriculture. Committee on Agriculture, Rome, 25–29 January 1999.
- Fertcare. 2022. Soil Carbon Snapshot. Agriculture Victoria. [internet]. https://agriculture.vic.gov.au/__data/assets/pdf_file/0006/857607/Soil-Carbon-Snapshot-updated-May-2022.pdf. [Diakses pada: 25 Desember 2022].
- Fließbach A, Oberholzer H-R, Gunst L, Mäder P. 2007. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment Journal*. 118: 273–284. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.022>

- George TS, Richardson AE, Simpson RJ. 2005. Behaviour of plant-derived 621 extracellular phytate upon addition to soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 37: 977–988. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.10.016>
- Gomiero T, Pimentel D, Paoletti MG. 2011. Environmental impact of different agricultural management practices: Conventional vs. organic agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 30: 95–124. <https://doi.org/10.1080/07352689.2011.554355>
- Gouda S, Nayak S, Bishwakarma S, Kerry RG, Das G, Patra JK. 2017. Role of microbial technology in agricultural sustainability. In: Patra JK, Vishnuprasad ChN, Das G (eds). *Microbial Biotechnology. Applications in Agriculture and Environment*. Singapura (ID): Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6847-8_8
- Kong I, Wang YB, Zhao IN, Chen ZH. 2009. Enzyme and root activities in surface-flow constructed wetlands. *Chemosphere*. 76: 601–608. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.04.056>
- McGill WB, Cole CV. 1981. Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. *Geoderma*. 26:267–268. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(81\)90024-0](https://doi.org/10.1016/0016-7061(81)90024-0)
- Moore G, Dolling P, Porter B, Leonard L. 1998. Soil Acidity. Dalam *Soil Guide. A Handbook for Understanding and Managing Agricultural Soils*. Agriculture Western Australia Bulletin No. 4343.
- Nisar AB, Riar A, Ramesh A, Iqbal S, Sharma MP, Sharma SK, Bhullar GS. 2017. Soil biological activity contributing to phosphorus availability in vertisols under long-term organic and conventional agricultural management. *Frontiers in Plant Science*. 8: 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01523>
- Nesme T, Colomb B, Hinsinger P, Watson CA. 2014. Soil phosphorus management in organic cropping systems: from current practices to avenues for a more efficient use of P resources. Dalam: Bellon S, Penvern S (eds). *Organic Farming, Prototype for Sustainable Agriculture*. Dordrecht (ND): Springer. hlm. 23–45. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7927-3_2
- R4P Network. 2016. Trends and challenges in pesticide resistance detection. *Trends in Plant Science*. 21: 834–853. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.06.006>
- Richardson A, Lynch J, Ryan P, Delhaize E, Smith F, Smith S. 2011. Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. *Plant Soil*. 349: 121–156. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0950-4>
- Seufert V, Ramankutty N, Foley JA. 2012. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. [internet]. *Nature* 485: 229–232. <https://doi.org/10.1038/nature11069>
- Shannon D, Sen AM, Johnson DB. 2002. A comparative study of the microbiology of soils managed under organic and conventional regimes. *Soil Use Manage*. 18: 83–274. <https://doi.org/10.1079/SUM2002130>
- Tamilselvi SM, Chinnadurai C, Hamuruga K, Arulmozhiselvan K, Balachandran D. 2015. Effect of long-term nutrient management on biological and biochemical properties of semi-arid tropical Alfisol during maize crop development stages. *Ecological Indicators*. 48: 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.001>
- Tang J, Leung A, Leung C, Lim BL. 2006. Hydrolysis of precipitated phytate by three distinct families of phytases. *Soil Biol Biochem*. 38: 1316–1324. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.08.021>
- Tong L, Li J, Zhu L, Zhang S, Zhou H, Lv Y, Zhu K. 2022. Effects of organic cultivation on soil fertility and soil environment quality in greenhouses. *Front Soil Sci*. 2:bn1096735. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2022.1096735>
- Turner BJ, McKelvie ID, Haygarth PM. 2002. Characterisation of water extractable soil organic phosphorus by phosphatase hydrolysis. *Soil Biology and Biochemistry*. 34:27–35.
- Turner BL, Newman S, Cheesman AW, Reddy KR. 2007. Sample pretreatment and phosphorus speciation in wetland soils. *Soil Science Society of America Journal*. 71: 1538–1546. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00144-4](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00144-4)
- Zhang CH, Liu X, Dong F, Xu J, Zheng Y, Li J. 2010. Soil microbial communities response to herbicide 2,4-dichlorophenoxy-acetic acid butyl ester. *European Journal of Soil Biology*. 46: 175–180. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2009.12.005>