

# Dukungan Pupuk Organik untuk Memperbaiki Kualitas Tanah pada Pengelolaan Padi Sawah Ramah Lingkungan

## *Management of Environmentally Friendly Rice Field by Means of Organic Fertilizer Utilization to Improve Soil Quality*

Anicetus Wihardjaka dan Elisabeth Srihayu Harsanti

Balai Penelitian Lingkungan Pertanian  
Jl. Jakenan-Jaken Km 5 Jaken Pati 59184 Jawa Tengah  
e-mail: awihardjaka@yahoo.co.id

Diterima: 18 Mei 2020

Revisi: 15 September 2020

Disetujui: 29 Maret 2021

### ABSTRAK

Pupuk organik memegang peranan penting dalam pengelolaan pertanian tanaman pangan terutama padi, seiring dengan program prioritas peningkatan produksi dan produktivitas komoditas pangan strategis. Sebagai andalan penyediaan pangan berupa padi, tanah sawah di Indonesia umumnya mengandung bahan organik tanah yang rendah. Lebih dari 65 persen tanah sawah irigasi mengandung bahan organik (BO) kurang dari 2 persen. Rendahnya kandungan BO dalam tanah menjadi salah satu faktor penurunan produktivitas padi di lahan sawah. Penggunaan pupuk organik dalam konsep pemupukan berimbang bersifat multifungsi, antara lain memasok hara esensial, memperbaiki produktivitas dan kualitas tanah pada lahan yang selalu diberi pupuk anorganik, meningkatkan cadangan karbon, dan menurunkan dampak perubahan iklim. Kualitas tanah berperan penting dalam mendukung pertumbuhan tanaman tanpa menyebabkan gangguan terhadap lingkungan. Pemberian pupuk organik yang terbuat dari pupuk kandang dan jerami padi memperbaiki kualitas tanah dengan menurunkan bobot isi tanah berkisar 15,4–17,5 persen. Pemberian pupuk organik seperti kompos jerami di lahan sawah tadah hujan meningkatkan produktivitas padi sawah 5,4–9,0 persen dan serapan kalium 0,07–0,28 gram K per tanaman, serta menurunkan emisi metana sebesar 38,05 persen. Dorongan implementasi penggunaan pupuk organik di masyarakat perlu digalakan, sekaligus dilakukan pengawasan mutu agar dapat meningkatkan perbaikan kualitas tanah dan secara bersamaan meminimalkan gangguan terhadap lingkungan.

kata kunci: kualitas tanah, padi sawah, pupuk organik, ramah lingkungan

### ABSTRACT

*Organic fertilizers play an essential role in integrated food crop agriculture management, in line with priority programs in increasing production and productivity of strategic food commodities. As a mainstay of food supply, rice field soils in Indonesia generally contain low soil organic matter. More than 65 percent of irrigated rice fields contain less than 2 percent of organic materials. The low content of organic matter in the soil is one factor in decreasing rice productivity in rice fields. The organic fertilizer used in the concept of balanced fertilization is multifunctional, including supplying essential nutrients, improving productivity and soil quality on rice field that is always treated with inorganic fertilizer, increasing carbon stocks, and reducing climate change. Soil quality plays a vital role in supporting plant growth without causing disturbance to the environment. The application of organic fertilizers made from farmyard manure and rice straw improves soil quality by reducing soil bulk density by 15.4–17.5 percent. Application of organic fertilizer such as composted straw in rainfed rice fields, increases rice productivity from 5.4 to 9.0 percent and potassium uptake from 0.07 to 0.28 gram K per plant and reduces methane emissions by 38.05 percent. The impetus for implementing the use of organic fertilizers in the community should be encouraged and quality control is carried out simultaneously to minimize disruption to the environment.*

*keywords: friendly-environment, lowland rice, organic fertilizer, soil quality*

## I. PENDAHULUAN

Pemanasan global berdampak terhadap perubahan dan keragaman iklim yang

berpengaruh langsung maupun tidak langsung pada sektor pertanian. Sektor pertanian bertanggung jawab terhadap stabilitas

---

ketahanan pangan yang peka terhadap dampak perubahan iklim, di mana subsektor tanaman pangan yang paling rentan terhadap perubahan iklim. Keberlanjutan produksi pertanian dihadapkan pada berbagai permasalahan lingkungan, antara lain dampak perubahan iklim dan degradasi lingkungan seperti kehilangan kapasitas produksi tanah, reduksi biodiversitas, dan kerusakan pasokan dan kualitas air (de Souza, dkk., 2016). Ancaman dan krisis pangan dunia tidak terpisahkan dari perubahan iklim. Antisipasi dampak perubahan iklim perlu mensinergikan upaya adaptasi dengan aksi mitigasi melalui penerapan inovasi teknologi untuk meningkatkan produktivitas tanaman dan penyerapan gas rumah kaca (GRK).

Sesuai Undang-Undang No. 22/2019 tentang Sistem Budidaya Pertanian Berkelanjutan, pemanfaatan sumber daya hayati perlu dilakukan dengan menjaga kelestarian lingkungan untuk mencapai kedaulatan pangan. Sistem pertanian terpadu dikembangkan untuk memperbaiki kualitas lingkungan, keberlanjutan agronomis, dan viabilitas sosial ekonomi masyarakat (de Souza, dkk., 2016). Pengelolaan pertanian terpadu pada tanaman pangan harus memperhatikan faktor iklim, sumber daya hayati, dan tanah.

Kualitas tanah menjadi dasar pertanian berkelanjutan. Sistem pertanian terpadu atau konservasi memadukan beberapa komponen teknologi untuk mencapai sasaran, yaitu keberlanjutan peningkatan produktivitas tanaman pangan dan pendapatan masyarakat, penguatan ketahanan terhadap perubahan dan keragaman iklim, dan pengurangan sumber-sumber penyebab perubahan iklim seperti emisi gas rumah kaca yang sekaligus meningkatkan cadangan karbon dalam tanah. Pada sistem pertanian seperti pengelolaan tanaman terpadu (PTT), pertanian ramah iklim (*climate-smart agriculture*), sistem integrasi tanaman-ternak (SITT), pupuk organik menjadi salah satu komponen teknologinya. Perbaikan kualitas tanah dengan memanfaatkan sumber daya alam menjadi salah satu sasarnya (de Souza, dkk., 2016). Penerapan pertanian konservasi dan ramah iklim dapat memperbaiki kualitas tanah di mana tanah mampu mendukung

pertumbuhan tanaman termasuk faktor-faktor seperti kedalaman olah tanah, agregasi, kandungan bahan organik, kapasitas menahan air, infiltrasi, ketersediaan hara esensial, laju infiltrasi, perubahan reaksi tanah (Liu, dkk., 2006).

Kabinet Indonesia Maju menargetkan peningkatan produksi dan produktivitas tanaman pangan terutama padi dengan pertumbuhan rata-rata 4,30 persen tiap tahun pada periode 2020–2024, di mana target tahun 2020 dan 2024 masing-masing adalah 59,15 juta ton dan 65,20 juta ton gabah kering giling (GKG) (Gatra, 2019). Tentunya upaya peningkatan produktivitas tanaman juga dibarengi dengan upaya pelestarian lingkungan dan kualitas tanah, antara lain melalui penggunaan pupuk organik dalam konsep pemupukan berimbang. Pemanfaatan bahan organik menjadi salah satu kunci keberlanjutan produksi dalam sistem pertanian ramah lingkungan yang berfungsi untuk memperbaiki kualitas tanah, memperbaiki fungsi ekologis seperti mengatur siklus hidrologi dan biogeokimia, memitigasi perubahan iklim global dan sumber biodiversitas (de Tombeur, dkk., 2018).

Pelandaian produktivitas tanaman pangan disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain penurunan kandungan bahan organik tanah budidaya akibat penggunaan lahan secara intensif tanpa pengembalian bahan organik ke dalam tanah, deplesi ketersediaan hara tanah, lapisan olah dangkal, penetrasi akar terhambat, serangan organisme pengganggu tanaman, dan penurunan ketersediaan air (Sumarno, dkk., 2009). Penurunan kandungan bahan organik dapat menurunkan kesuburan tanah baik fisik, kimia maupun biologi yang berimbas pada penurunan produktivitas tanaman (Scotti, dkk., 2015). Tanah mineral mengandung bahan organik berkisar 2–5 persen di mana kandungan bahan organik menentukan sifat tanah dan berperan penting bagi sifat tanah dan pertumbuhan tanaman (Tangketasik, dkk., 2012). Demikian pula tanah sawah di Indonesia yang umumnya mengandung bahan organik yang rendah, yaitu 65 persen dari  $\pm 5$  juta ha lahan sawah irigasi memiliki kandungan bahan organik kurang dari 2 persen (Sitepu, dkk., 2017). Penurunan drastis kandungan bahan organik tanah disebabkan

oleh olah tanah berlebihan, tanah tidak pernah diberi pupuk organik atau hanya diberikan pupuk anorganik, kebiasaan petani membakar jerami saat panen ataupun jerami diangkut ke luar areal persawahan (Tangketasik, dkk., 2012; Sitepu, dkk., 2017). Menurut Nita, dkk. (2015), pengolahan tanah intensif mempercepat laju mineralisasi bahan organik tanah yang berdampak terhadap penurunan kandungan C organik, pemadatan tanah, dan penurunan porositas atau peningkatan bobot isi. Salah satu solusi perbaikannya adalah dengan pemberian bahan organik baik dalam bentuk pupuk organik ataupun pembenah tanah organik. Pemerintah dalam dekade terakhir telah aktif membangun Unit Pengolah Pupuk Organik (UPPO) sebagai stimulasi masyarakat untuk menyediakan pupuk organik untuk memperbaiki kesuburan tanah.

Tulisan ini bertujuan mengkaji manfaat pupuk organik dalam memperbaiki kualitas tanah sawah melalui pengelolaan pertanian tanaman padi ramah lingkungan.

## II. BAHAN ORGANIK: SUMBER DAN MANFAAT

Tanah di daerah tropis umumnya mengandung kadar bahan organik yang rendah. Karbon yang berasal dari organisme umumnya tidak melebihi 4 persen dari total karbon organik tanah, dan umumnya berasal dari akar, mikroorganisme dan fauna tanah (Adiaha, 2017). Menurut Lal (2002), siklus karbon dalam tanah berperan sebagai sumber dan rosot (*sink*) C di biosfer. Sumber C tanah tersusun atas  $1,7 \times 10^{12}$  ton C organik dan  $8,3 \times 10^{11}$  ton C anorganik. Sebagian C termineralisasi pada kondisi tanah tertentu dan dilepaskan ke atmosfer dalam bentuk emisi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{CH}_4$ . Namun konsentrasi C di atmosfer dapat dikurangi dengan meningkatkan cadangan C dalam tanah.

Kandungan bahan organik tanah umumnya digunakan sebagai indikator kualitas tanah dan kelimpahan pasokan unsur mineral esensial. Daur ulang bahan organik dan unsur mineral dari residu tanaman ke dalam tanah dapat menguntungkan keberlanjutan pertanian (White, dkk., 2014). Pemberian pupuk organik, kompos kotoran ternak, maupun pengembalian sisa tanaman baik dibenamkan atau sebagai mulsa

diperlukan dalam budidaya tanaman yang selalu menggunakan pupuk anorganik saja. Akumulasi bahan organik dalam tanah adalah kunci krusial bagi kesuburan tanah, retensi air, dan produktivitas tanaman (Scotti, dkk., 2015; Awale, dkk., 2017). Bahan organik dalam tanah berfungsi untuk membenahi/ memperbaiki sifat-sifat tanah baik fisik (struktur tanah, stabilitas agregat, kapasitas menahan air, warna tanah, kelenturan tanah), kimiawi (kapasitas tukar kation, pasokan hara, pH, daya sangga, jerapan dan kompleksasi) maupun hayati (sumber energi dan substrat mikroba) (Adiaha, 2017; Awale, dkk., 2017). Bahan organik berperan pula sebagai agen pengikat butir atau pementap agregat tanah. Bahan organik yang berasal dari sisa tumbuhan atau binatang, dari hasil sintesis mikroba tanah dan dari sekresi akar berfungsi untuk melekatkan butir tanah atau agregat mikro menjadi agregat tanah (Scotti, dkk., 2015). Bahan organik memperbaiki kualitas tanah seperti yang ditunjukkan pada kajian jangka panjang di Cina di mana pemberian pupuk kandang dan jerami padi meningkatkan C organik tanah, porositas, dan menurunkan bobot isi tanah berkisar 15,4–17,5 persen dibandingkan tanpa bahan organik (Scotti, dkk., 2015).

Bahan organik adalah salah satu kontributor utama agregasi tanah yang esensial untuk mempertahankan kelenturan tanah terhadap cekaman fisik, dan meningkatkan cadangan C melalui proteksi fisik (de Tombeur, dkk., 2018). Ketersediaan bahan organik tanah dalam sistem budidaya tanaman bergantung pada keseimbangan antara penambahan karbon terutama dari sisa tanaman dan laju dekomposisinya (Machado, dkk., 2006; Awale, dkk., 2017). Pada bahan organik tanah secara berkesinambungan terjadi depolimerasi oksidatif senyawa organik melalui peningkatan reaktivitas molekul organik terhadap fase mineral dalam proses agregasi tanah (de Tombeur, dkk., 2018).

Bahan organik tanah adalah sumber utama untuk hara C, H, O, N, P, dan S, di mana siklus dan ketersediaannya secara konstan bergantung pada imobilisasi mikroba dan laju mineralisasi (Liu, dkk., 2016; Adiaha, 2017). Bahan organik tanah terdiri atas bahan organik hidup seperti akar, eksudat akar, residu tanaman, biomassa mikroba, biomassa fauna,

dan *manure* stabil, bahan organik terlarut, bahan organik partikulat, humus dan bahan organik inert atau berkarbonisasi (Ponnamperuma, 1984; Darwis dan Rachman, 2013; Adaha, 2017). Bagian dari bahan organik tanah adalah karbohidrat, lemak dan protein yang berlimpah dalam residu tanaman segar yang dengan cepat dimetabolisme dan diimobilisasi atau diurai (Adaha, 2017). Penambahan bahan organik segar meningkatkan bahan organik tanah melalui proses pembusukan secara cepat, yang merupakan efek *priming positive* (Scharpenseel dan Neue, 1984).

### III. BAHAN ORGANIK DAN KUALITAS TANAH

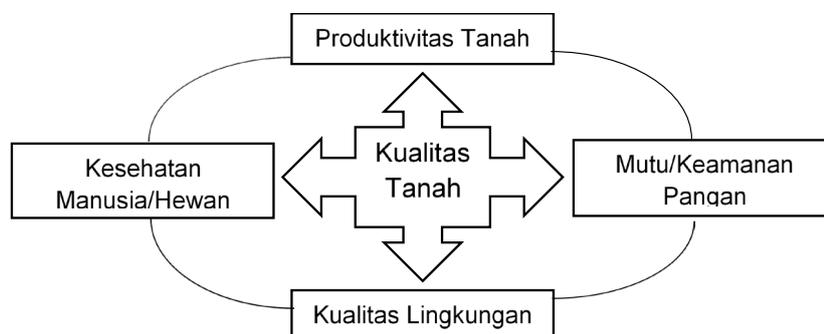
Kualitas tanah merupakan kunci dari pengelolaan pertanian secara berkelanjutan, termasuk pula pengelolaan tanaman padi. Indikator kualitas tanah tercermin pada sifat fisik, kimia, dan biologi tanah serta proses dan karakteristik yang dapat diukur untuk memantau berbagai perubahan dalam tanah (Supriyadi, 2018). Menurut Parr, dkk. (1992) dalam Supriyadi (2018), kualitas tanah menentukan produktivitas tanah, kualitas lingkungan, mutu atau keamanan pangan, dan kesehatan manusia/hewan yang saling berinteraksi satu sama lain (Gambar 1). Produktivitas tanah memengaruhi kemampuan tanah untuk dapat memberikan hasil tanaman dengan baik. Tanah yang produktif adalah tanah yang relatif subur dan berkualitas. Salah satu indikator kualitas tanah adalah ketersediaan bahan organik dalam tanah yang berperan penting untuk mempertahankan produktivitas tanaman tanpa mengganggu lingkungan.

Proses-proses dalam tanah dipengaruhi oleh kandungan bahan organik, antara lain daur dan ketersediaan hara, kapasitas menahan air, struktur tanah, dan retensi terhadap pestisida dan logam berat (Scotti, dkk., 2015).

Peningkatan bahan organik tanah berperan penting untuk memperbaiki sifat fisik tanah, konservasi air, dan meningkatkan ketersediaan hara (Liu, dkk., 2006; Scotti, dkk., 2015). Pemberian 2 ton jerami per hektare per tahun selama > 25 tahun memaksimalkan pengayaan karbon menjadi 6,5 ton C/ha yang berarti terjadi sekuistrasi C (Scharpenseel dan Neue, 1984).

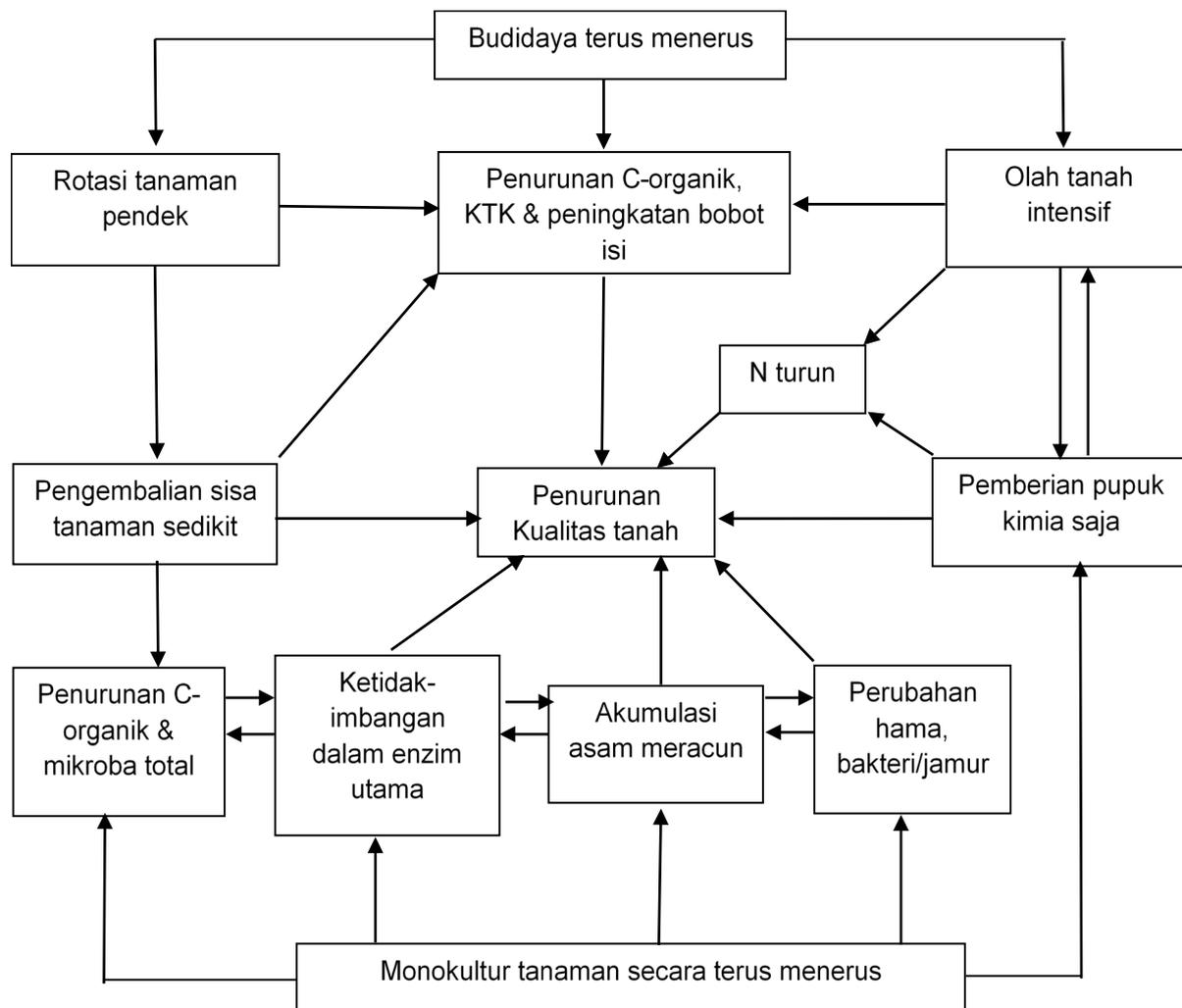
Pengelolaan pertanian tidak berkelanjutan dapat menurunkan kandungan bahan organik yang mengakibatkan penurunan kualitas tanah, seperti dijelaskan pada diagram Gambar 2 (Liu, dkk., 2006). Penurunan kandungan C organik dalam tanah dipercepat dengan praktik budidaya secara terus menerus, olah tanah secara intensif, dan tanpa pengembalian sisa tanaman/biomassa setelah panen. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kehilangan C tanah dari tanah pertanian, antara lain iklim, tipe tanah, intensitas dan kedalaman olah tanah, rotasi tanaman, jumlah masukan pupuk organik, jumlah residu tanaman di permukaan tanah, kualitas residu tanaman yang dikembalikan ke dalam tanah, aktivitas hayati tanah, lama tanah diberakan, dan pengikisan tanah/erosi (Matson, dkk., 1997).

Pengembalian bahan organik ke dalam tanah misal biomassa jerami atau pupuk organik secara tidak langsung memperbaiki kualitas tanah yang dikenal secara spesifik



**Gambar 1.** Hubungan Kualitas Tanah dengan Produktivitas Tanah, Kualitas Lingkungan, Keamanan Pangan dan Kesehatan Manusia/Hewan

Sumber : Parr, dkk., 1992 dalam Supriyadi, 2018



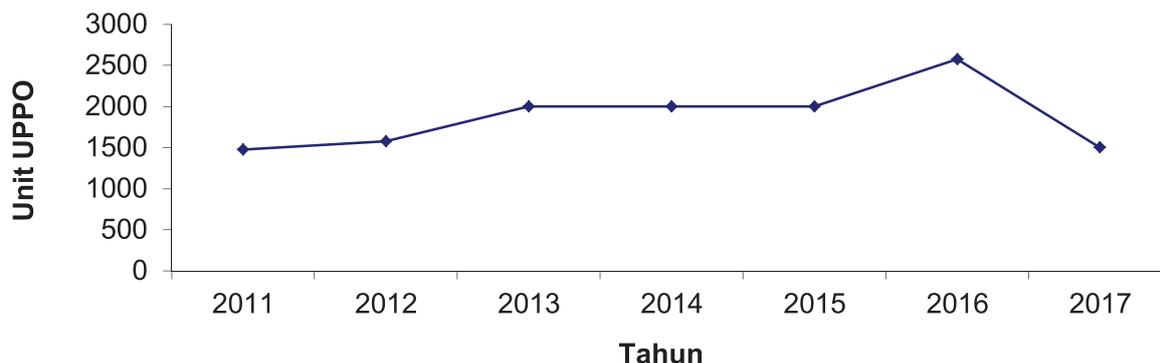
**Gambar 2.** Diagram Interaksi dan Dampak Negatif Pengelolaan Pertanian terhadap Penurunan Kualitas Tanah

Sumber : Liu, dkk., 2006

dari sifat, ciri, dan watak tanah. Bahan/pupuk organik memperbaiki kapasitas menahan air, kemantapan agregat dan kegemburan tanah, sehingga akar tanaman padi leluasa menjelajah serta menyerap air dan hara esensial yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman. Selain itu, masukan bahan/pupuk organik secara tidak langsung menggiatkan mikroba menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman dan mengurangi kehilangan hara baik dari proses volatilisasi ataupun pencucian, serta menjerap logam berat dalam tanah. Penggunaan bahan organik menjadi komponen dalam budidaya padi sawah terpadu seperti Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT), Pertanian Ramah Iklim (PRI), *System of Rice Intensification (SRI)*, dan Sistem Integrasi Tanaman-Ternak (SITT).

#### IV. SUMBER PUPUK ORGANIK DI MASYARAKAT

Sejak revolusi hijau, pupuk anorganik digunakan secara intensif untuk meningkatkan produktivitas tanaman pertanian termasuk tanaman pangan. Sejak itu, pupuk anorganik telah menggantikan pupuk alami/pupuk organik. Penggunaan pupuk anorganik sebagai bahan agrokimia secara intensif lambat laun berdampak negatif terhadap lingkungan, seperti degradasi sumber daya lahan, akumulasi kontaminan dalam tanah, keseimbangan hara dalam tanah terganggu, dan peningkatan emisi gas rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global dan perubahan iklim walaupun penggunaan bahan agrokimia tersebut dan adanya varietas unggul tipe baru memberikan kontribusi



**Gambar 3.** Jumlah UPPO periode 2011–2017 (Sumber: Pusdatin, 2019)

terhadap capaian swasembada pangan tahun 1984. Dengan demikian, penggunaan pupuk anorganik perlu dikurangi. Saat ini pemerintah mendorong petani untuk menerapkan pemupukan berimbang, dengan menggunakan pupuk anorganik sesuai kebutuhan tanaman yang diiringi dengan pemberian pupuk organik.

Ketersediaan bahan organik merupakan komponen sarana produksi pertanian yang memegang peranan penting dalam sistem interaksi antara tanah-tanaman-udara. Salah satu upaya pemerintah adalah menyediakan dan mengembangkan Unit Pengolah Pupuk Organik (UPPO) yang memberikan kontribusi nyata terhadap pertanian ramah iklim dalam mempertahankan kesuburan tanah, meningkatkan produktivitas tanaman, dan memitigasi dampak perubahan iklim. Berdasarkan Permentan No. 1/2019 tentang Pendaftaran Pupuk Organik, Pupuk Hayati dan Pembenah Tanah, pupuk organik adalah pupuk yang berasal dari tumbuhan mati, kotoran hewan dan/atau bagian hewan, dan/atau limbah organik lainnya yang telah melalui proses rekayasa, berbentuk padat atau cair dapat diperkaya dengan bahan mineral dan/atau mikroba yang bermanfaat untuk meningkatkan kandungan hara dan bahan organik tanah, serta memperbaiki sifat fisik, kimia, dan/atau biologi tanah. Pupuk organik dibedakan dalam bentuk padat dan cair, sedangkan berdasar penyusunnya dapat berupa pupuk hijau, pupuk kandang, kompos, dan pupuk hayati.

Budidaya pertanian tanaman pangan berbasis konservasi/organik diarahkan untuk memperbaiki kualitas produk pertanian, mempertahankan kesuburan sumber daya lahan, dan menjaga kelestarian lingkungan

pertanian secara berkelanjutan. Pada tahun 2017 pemerintah membangun 1.500 unit UPPO yang tersebar di 282 kabupaten dari 33 provinsi (Nurjanah, 2017). Fasilitas UPPO telah dibangun sejak tahun 2010–an seperti terlihat pada Gambar 3. Tujuan pembangunan UPPO adalah: (i) menyediakan fasilitas terpadu pengolahan bahan organik menjadi kompos; (ii) mengoptimalkan pemanfaatan limbah kotoran ternak sebagai bahan baku kompos; (iii) memenuhi kebutuhan pupuk organik *in situ*; (iv) menggantikan kebutuhan pupuk anorganik; (v) memperbaiki kesuburan dan produktivitas lahan pertanian; (vi) meningkatkan populasi ternak; (vii) memberikan kesempatan berusaha dan lapangan kerja di pedesaan; (viii) menyediakan media pelatihan dan penelitian kepada masyarakat; dan (ix) melestarikan sumber daya lahan pertanian dan lingkungan (Nurjanah, 2017). Satu ekor sapi rata-rata menghasilkan kotoran segar 9,6 kg per hari atau 7,01 ton per tahun (Wihardjaka, dkk., 2015). Bilamana di setiap unit UPPO dipelihara misal 25 ekor sapi, maka dalam 1 tahun akan terkumpul 175,25 ton kotoran sapi segar yang dapat dikomposkan terlebih dahulu sebelum diberikan ke dalam tanah. Berdasar jumlah unit UPPO pada Gambar 3, jumlah kotoran sapi yang dihasilkan berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai pupuk organik dan bahan baku biodigester. Pada tahun 2011, 2016, dan 2017 dihasilkan kotoran sapi masing-masing sebanyak 258.669, 451.094, dan 262.875 ton per tahun.

Hasil kegiatan UPPO antara lain berupa kompos atau pupuk organik yang digunakan anggota kelompok tani/gapoktan dalam budidaya tanaman pangan di sekitar lokasi UPPO (Nurjanah, 2017). Fasilitas UPPO meliputi

rumah kompos, alat pengolah pupuk organik, ternak, kandang komunal, bak fermentasi, dan kendaraan pengangkut. Keberadaan UPPO dapat menjamin ketersediaan pupuk organik di tingkat petani. Keberadaan UPPO memberikan keuntungan bagi petani, yaitu peningkatan pendapatan, produktivitas tanaman, dan perbaikan kualitas tanah baik fisik, kimia, maupun biologi (Sardjono, dkk., 2012). Namun, masih ditemukan fasilitas UPPO yang sudah tidak menghasilkan pupuk organik secara berkesinambungan disebabkan oleh kendala sertifikasi pupuk organik yang akan dikomersilkan, sehingga petani gapoktan enggan melanjutkannya. Contohnya pada fasilitas UPPO yang dibiarkan terbengkelai dan tidak terawat seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Pengawasan peningkatan mutu pupuk organik yang dihasilkan dari UPPO perlu dilakukan termasuk uji efektivitas dan pendaftarannya sesuai Permentan No. 1 tahun 2019 (revisi dari Permentan No. 70/ Permentan/ SR.140/10/2011), agar pupuk organik tersebut selain dimanfaatkan petani juga dapat dikomersialkan untuk mendukung keberlanjutan produksi pupuk organik tersebut.

lingkungan untuk optimasi pemanfaatan sumber daya alam dalam memperoleh produksi tinggi dan aman, serta menjaga kelestarian lingkungan dan sumber daya alam pertanian. Berdasarkan definisi tersebut, konsep kualitas tanah menjadi dasar penerapan SITT yang bermuara pada perbaikan produktivitas tanah, tanaman, ternak; terjaganya mutu lingkungan, dan terjaminnya kesehatan manusia/hewan.

SITT mengoptimalkan 3 komponen yaitu budidaya tanaman, budidaya ternak dan pengolahan limbah di mana ketiga komponen tersebut saling berinteraksi. Siklus terpadu antar komponen tanaman pangan, ternak, pengelolaan limbah yang berorientasi terhadap perbaikan produktivitas tanah, tanaman, dan ternak, perbaikan kesuburan tanah, pemanfaatan energi terbarukan, dan penekanan emisi gas rumah kaca terutama metana ( $CH_4$ ) dan dinitrogen oksida ( $N_2O$ ) (Wihardjaka, 2018). Ternak menghasilkan kotoran yang sebagian masuk ke dalam biodigester dan sebagian lain sebagai bahan baku ameliorasi/pembenah tanah. Kandungan hara dalam pupuk kandang beragam tergantung jenis ternaknya (Tabel 1).



**Gambar 4.** Salah Satu Fasilitas UPPO di Kecamatan Puring, Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah  
Sumber : Wihardjaka, 2020

Keberadaan UPPO dapat menjadi bagian dari Sistem Integrasi Tanaman-Ternak (SITT) yang bersifat multifungsi. SITT adalah salah satu sistem pertanian ramah lingkungan yang oleh Soemarno (2011) dalam Wihardjaka (2018) didefinisikan sebagai sistem pertanian yang menerapkan teknologi serasi dengan

Limbah pertanian dapat dikomposkan terutama bahan yang mengandung lignin rendah, sedangkan bahan yang berlignin tinggi sebaiknya dijadikan arang hayati (biochar) melalui proses pirolisis. Produksi dan pengelolaan arang hayati (biochar) baik dalam konteks lokal ataupun global digunakan

**Tabel 1.** Kandungan Hara pada beberapa Kotoran Ternak

Ternak	Kandungan Hara (kg/ton)					
	N	P	K	S	Ca	Mg
Sapi	6	1,5	3,0	0,9	1,2	1,0
Kuda	7	1,0	5,8	0,7	7,9	1,4
Ayam	15	7	8,9	0,3	3,0	8,8
Domba	13	2	9,3	0,9	5,9	1,9

untuk meningkatkan sekuistrasi karbon (C) dalam tanah pertanian, memperbaiki kualitas, produktivitas, serta mengurangi emisi GRK dari pertanian dalam jangka panjang (White, dkk., 2014).

Jerami padi hasil panen sebaiknya tidak dibakar, tetapi diberikan dalam bentuk kompos. Pembakaran jerami justru menghilangkan hara-hara esensial yang terkandung dalam jerami sekaligus dapat menyumbangkan emisi GRK. Pemberian kompos jerami padi dapat meningkatkan hasil padi sawah di agroekologi lahan tadah hujan berkisar 5,4–9,0 persen (Wihardjaka, 2011). Pemberian jerami padi 5 ton/ha meningkatkan secara nyata rata-rata hasil gabah kering giling varietas Ciherang sebesar 0,7 ton/ha, serapan kalium 0,07–0,28 gram K per tanaman, dan kandungan K tersedia dalam tanah 0,22–0,30 cmol/kg (Wihardjaka, 2015).

Penggunaan jerami padi ke dalam tanah sawah dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas penggunaan pupuk anorganik. Jerami padi sebanyak 1,5 ton mengandung 9 kg N, 2 kg P, 2 kg S, 25 kg K, 70 kg Si, 2 kg Ca, 2 kg Mg, dan substrat untuk metabolisme mikroba seperti gula, pati, lemak, selulosa, hemiselulosa, pektin, dan protein (Ponnamperuma, 1984). Jerami

padi dapat menggantikan pupuk terutama KCl. Penelitian Siddaram, dkk. (2017) di India melaporkan bahwa pemberian 10.000 kg/ha pupuk kandang yang dikombinasikan dengan pupuk anorganik (100 kg N, 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 50 kg K<sub>2</sub>O per ha) nyata meningkatkan hasil padi dengan sistem tanam sebar langsung atau tabela berkisar 88–195 persen.

Beberapa pupuk organik komersial telah tersedia di pasaran dan tentunya sesuai dengan persyaratan dalam Permentan No. 1/2019 dan Kepmentan No. 261/Kpts/SR.310/M/4/2019. Menurut Kepmentan No. 261/Kpts/SR.310/M/4/2019, persyaratan teknis minimal pupuk organik antara lain mengandung ≥ 15 persen C-organik, nisbah C/N ≤ 25, bebas patogen (*E. coli*, *Salmonella* sp.), dan logam berat (As, Hg, Pb, Cd, Cr, Ni). Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian melalui Balai Penelitian Tanah pun telah menghasilkan pupuk organik, antara lain tithoganik, POG, dan POCr plus. Tithoganik adalah pupuk organik yang diperkaya bahan hijauan *Tithonia diversifolia* dan fosfat alam/dolomit yang bersifat lambat urai dan mempercepat proses pengomposan. Tithoganik mengandung 20–35 persen C-organik, Nisbah C/N 15-25, pH 6-8, 2–4 persen P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 2–4 persen K<sub>2</sub>O, 3–4 persen

**Tabel 2.** Pengaruh Pupuk Organik Granul dan Curah terhadap Hasil Gabah Kering Padi Sawah di Tanah Inceptisol Bogor

Pupuk	Hasil Gabah Kering (ton/ha)	RAE (%)
Tanpa pupuk	4,99	-
POG	5,63	20,25
POCr	5,99	31,15
N P K	8,15	100,00
¾ NPK + POG-600	8,47	110,13
¾ NPK + POG-900	7,11	67,09
¾ NPK + POG-1200	8,17	100,63
¾ NPK + POG-1500	7,74	87,03
¾ NPK + POCr-600	7,87	91,14
¾ NPK + POCr-900	8,19	101,27
¾ NPK + POCr-1200	8,60	114,24
¾ NPK + POCr-1500	8,28	104,11

CaO, 0,5–2 persen MgO (Hartatik, dkk., 2015). Penggunaan POG 2 ton/ha mengefisienkan penggunaan pupuk anorganik NPK sebesar 25 persen. Penggunaan POG ataupun PO curah menghemat penggunaan NPK dan memberikan hasil yang tidak berbeda dengan pemberian NPK penuh. Pemberian NPK 75 persen dikombinasikan dengan POG dosis 600 kg/ha atau POCr dosis 1200 kg/ha memberikan nilai efektivitas agronomi tinggi masing-masing 110 dan 114 persen (Tabel 2).

Perbaikan pupuk organik diperlukan untuk meminimalkan beberapa kendala seperti menyebabkan ketidakimbangan hara dalam tanah jika digunakan secara terus menerus, sumberemisi GRK terutama bahan belum matang dengan nisbah C/N tinggi, pembawa patogen, dan mengandung logam berat. Pengawasan peredaran pupuk organik perlu dilakukan secara ketat sesuai regulasi yang telah ada, dan diperlukan strategi untuk mengimplementasikan penggunaan pupuk organik kepada masyarakat, antara lain: (i) Menerapkan teknologi yang relatif murah dan mudah dikerjakan petani; (ii) Mendorong tumbuhnya industri pupuk organik

organik pada kondisi tanah anaerob dengan melibatkan bakteri metanogen (Ravichandran, dkk., 2015; Reim, dkk., 2017; Zhang, dkk., 2019). Sedangkan dinitrogen oksida ( $N_2O$ ) dihasilkan dari proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang melibatkan bakteri tertentu (Ji, dkk., 2015; Liu, dkk., 2016; Sabba, dkk., 2017). Gas  $CH_4$  dan  $N_2O$  mempunyai indeks potensi pemanasan global masing-masing sebesar 25 dan 296 dibandingkan satu molekul  $CO_2$ . Kontributor utama  $CH_4$  dari pertanian adalah lahan sawah, pembakaran biomassa, peternakan dari fermentasi enterik, dan pengelolaan kotoran ternak, di mana konsentrasi global  $CH_4$  adalah 1842,3 ppm (Januari 2016) yang meningkat menjadi 1851,4 ppm (Januari 2017) (Balakrishnan, dkk., 2018).

Pemberian bahan organik ke dalam tanah sawah umumnya meningkatkan emisi gas rumah kaca (Wihardjaka, dkk., 1999; Mulyadi, dkk., 2002a), namun pemberian bahan organik matang (ber-nisbah C/N rendah) cenderung mengemisi gas metana lebih rendah daripada bahan organik segar (ber-nisbah C/N tinggi), seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Emisi Metana pada Beberapa Jenis Bahan Organik di Lahan Sawah Tadah Hujan di Kabupaten Pati, Tahun 1999

Jenis Bahan Organik	kg $CH_4$ /ha/Musim	ton Gabah GKG/ha
Tanpa bahan organik	144	2,63
Pupuk kandang 5 ton/ha	207	4,31
Jerami segar 5 ton/ha	252	4,26
Kompos jerami 5 ton/ha	156	4,71
<i>Sesbania</i> sp 5 ton/ha	265	3,25

di daerah sentra produksi yang mempunyai bahan baku melimpah; (iii) Kebijakan pemerintah memberikan pendampingan dan bantuan pembuatan pupuk organik ; dan (iv) Melaksanakan pengawasan mutu pupuk organik dan menerapkan standar mutu pupuk organik yang ramah lingkungan (Hartatik, dkk., 2015).

## V. EMISI GAS RUMAH KACA DARI PENGELOLAAN PUPUK ORGANIK

Sektor pertanian dipandang sebagai sumber emisi sekaligus rosot gas rumah kaca terutama karbon dioksida ( $CO_2$ ), metana ( $CH_4$ ) dan dinitrogen oksida ( $N_2O$ ) (IPCC, 2007). Metana ( $CH_4$ ) adalah gas rumah kaca yang dihasilkan dari proses dekomposisi bahan

Kompos jerami mengemisi metana 38,05 persen lebih rendah daripada jerami segar di lahan sawah (Wihardjaka, 2018). Dari Tabel 3 terlihat bahwa pupuk kandang dan kompos jerami yang digunakan termasuk matang atau ber-nisbah C/N rendah. Mikroba dekomposer berperan dalam memecah senyawa lignin-selulosa dari jerami segar pada proses pengkomposan, seperti *Azospirillum* sp., *Aspergillus niger*, *Actinomyces*, *Penicillium* spp., *Lactobacillus* sp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Myrothecium* sp., *Trichoderma viride*, dan *Bacillus subtilis* (Setiarto, 2013; Sitepu, dkk., 2017). Mulyadi, dkk. (2002b) melaporkan bahwa pemberian jerami segar mengemisi metana lebih tinggi dibandingkan pupuk kandang pada takaran

5 ton/ha pada pertanaman padi gogo rancah varietas IR64, masing-masing sebesar 89 dan 46 kg CH<sub>4</sub>/ha/musim. Pada tahun yang sama, Mulyadi, dkk. (2002a) melaporkan pula bahwa peningkatan takaran pupuk kandang dari kotoran sapi meningkatkan emisi N<sub>2</sub>O pada lahan sawah, di mana pada dosis pupuk kandang 0; 2,5; 5 dan 7,5 ton/ha melepaskan N<sub>2</sub>O masing-masing sebesar 171, 221, 311, dan 343 g N<sub>2</sub>O/ha/musim.

Pupuk organik bermanfaat penting dalam memperbaiki kualitas tanah sawah melalui pengelolaan tanaman yang ramah lingkungan, yaitu memperbaiki kemantapan agregat, struktur tanah, porositas tanah (aspek fisik), menyediakan hara esensial bagi pertumbuhan tanaman padi, mengurangi kehilangan hara baik yang dilepaskan ke atmosfer maupun yang tercuci, sekuistrasi karbon (aspek kimia), dan sumber energi bagi metabolisme mikroba (aspek biologi). Pupuk organik dari pupuk kandang dan jerami padi memperbaiki kualitas tanah dengan menurunkan bobot isi tanah berkisar 15,4–17,5 persen, meningkatkan produktivitas padi sawah 5,4–9,0 persen dan serapan kalium 0,07–0,28 gram K per tanaman, serta menurunkan emisi metana sebesar 38,05 persen. Penggunaan pupuk organik matang (nisbah C/N rendah) menghasilkan emisi GRK lebih rendah daripada bahan segar dengan nisbah C/N tinggi. Penggunaan BO seperti kompos, biomassa jerami padi atau limbah pertanian lainnya, pupuk hijau, atau pupuk organik menjadi bagian konsep pemupukan berimbang dalam budidaya padi sawah secara terpadu seperti pengelolaan tanaman terpadu, pertanian ramah iklim, dan sistem integrasi tanaman-ternak (SITT).

## VI. KESIMPULAN

Ketergantungan petani menggunakan pupuk anorganik tanpa pengembalian bahan organik ke dalam tanah berdampak negatif terhadap kualitas dan produktivitas tanah sawah. Penurunan kandungan BO tanpa pengembalian BO ke dalam tanah menjadi penyebab utama (permasalahan dasar) dari turunnya produktivitas tanaman padi. Pemberian pupuk organik memperbaiki kualitas tanah terutama pada lahan yang selalu diberi pupuk anorganik, menghemat kebutuhan pupuk anorganik, meningkatkan cadangan C

dalam tanah, dan memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Dorongan implementasi penggunaan pupuk organik kepada masyarakat perlu dilakukan secara intensif melibatkan peran pemerintah terutama dalam pengawasan mutu pupuk organik.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Sri Hartini (Petugas Perpustakaan Balai Penelitian Lingkungan Pertanian) yang telah membantu mencarikan dan menyediakan beberapa pustaka yang digunakan dalam naskah ini. Dalam naskah ini, semua penulis sebagai kontributor utama.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adiaha, M.S. 2017. The Role of Organik Matter in Tropical Soil Productivity. *World Scientific News* Vol. 86 No. 1: 1–66.
- Awale, R., M.A. Emeson and S. Machado. 2017. Soil Organik Carbon Pools as Early Indicators for Soil Organik Matter Stock Changes under Different Tillage Practices in Inland Pacific Northwest. *Front. Ecol. Evol.* Vol. 5. Article 96. August. doi: 10.3389/fevo.2017.00096
- Balakrishnan, D., K. Kulkarni, P.C. Latha and D. Subrahmanyam. 2018. Crop Improvement Strategies for Mitigation of Methane Emissions from Rice. *Emirates Journal of Food and Agriculture* Vol. 30. Issue 6: 451–462. doi: 10.9755/ejfa.2018.v30.i6.1707.
- Darwis, V. dan B. Rachman. 2013. Potensi Pengembangan Pupuk Organik *in situ* Mendukung Percepatan Penerapan Pertanian Organik. *Forum Penelitian Agro Ekonomi* Vol. 31 No. 1. Juli:51–65.
- de Souza A.M., M. Bicalho and R.T. dos Guimarães Peixoto. 2016. *Farmer and Scientific Knowledge of Soil Quality: A Social Ecological Soil Systems Approach*. *Belgeo* [Online], Vol. 4. December. <http://journals.openedition.org/belgeo/20069>:doi: 10.4000/belgeo.20069.
- de Tombeur, F., V. Sohy, C. Chenu, G. Colinet and J.T. Cornelis. 2018. Effects of Permaculture Practices on Soil Physicochemical Properties and Organik Matter Distribution in Aggregates: A Case Study of the Bec-Hellouin Farm (France). *Front. Environ. Sci.* Vol. Article 116. October. doi: 10.3389/fenvs.2018.001.
- Hartatik, W., Husnain dan L.R. Widowati. 2015. Peranan Pupuk Organik dalam Peningkatan Produktivitas Tanah dan Tanaman. *Jurnal Sumberdaya Lahan* Vol. 9. No. 2. Desember: 107–120.
- Gatra. 2019. Target Produksi Padi 2020 Turun, Ini Penjelasan Mentan. Gatra edisi 20 November

2019. [http:// https://www.gatra.com/detail/news/457723/ekonomi/target-produksi-padi-2020-turun-ini-penjelasan-mentan](http://https://www.gatra.com/detail/news/457723/ekonomi/target-produksi-padi-2020-turun-ini-penjelasan-mentan)
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Mitigation*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ji, Q., A.R. Babbin, A. Jayakumar, S. Oleynik and B.B. Ward. 2015. Nitrous Oxide Production by Nitrification and Denitrification in the Eastern Tropical South Pacific Oxygen Minimum Zone. *Geophysical Research Letters* Vol. 42. Issue 24. December: 10.755–10.764. doi: 10.1002/2015GL066853.
- Keputusan Menteri Pertanian Nomor 261/Kpts/SR.310/M/4/2019 tentang Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenah Tanah.
- Lal, R. 2002. Soil Carbon Dynamics in Cropland and Rangeland. *Environmental Pollution* Vol. 116. Issue 3. March: 353–362. doi: 10.1016/S0269-7491(01)00211-1.
- Liu, R., H. Hu, H. Suter, H.L. Hayden, J. He, P. Mele and D. Chen. 2016. Nitrification is A Primary Driver of Nitrous Oxide Production in Laboratory Microcosms from Different Land-Use Soils. *Front Microbiol.* Vol. 7. Article 1373. September. doi: 10.3389/fmicb.2016.01373.
- Liu, X., S.J. Herbert, A.M. Hashemi, X. Zhang and G. Ding. 2006. Effects of Agricultural Management on Soil Organic Matter and Carbon Transformation – A Review. *Plant Soil Environ.* Vol. 52. No. 12: 531–543.
- Machado, S., K. Rhinhart and S. Petrie. 2006. Long-term Cropping System Effects on Carbon Sequestration in Eastern Oregon. *J. Environ. Qual.* Vol. 35. July–August: 1548–1553. doi: 10.2134/jeq2005.0201.
- Matson, P.A., W.J. Parton, A.G. Power and M.J. Swift. 1997. Agricultural Intensification and Ecosystem Properties. *Science* Vol. 277. No. 5325. July: 504–509. doi: 10.1126/science.277.5325.504.
- Mulyadi, Poniman dan I.J. Sasa. 2002a. Emisi gas N<sub>2</sub>O dari berbagai takaran pupuk kandang pada padi gogorancah dilahan sawah tadah hujan. *Prosiding Seminar Nasional Sistem Produksi Pertanian Ramah Lingkungan*. Puslitbangtan. Bogor: 33–39.
- Mulyadi, Suharsih, I.J. Sasa dan P. Setyanto. 2002b. Penggunaan bahan organik pada padi dan emisi gas metana dari lahan sawah. *Prosiding Seminar Nasional Sistem Produksi Tanaman Pangan Berwawasan Lingkungan*. Puslitbangtan. Bogor: 71–78.
- Nita, C.E., B. Siswanto dan W.H. Utomo. 2015. Pengaruh Pengolahan Tanah dan Pemberian Bahan Organik (Blotong dan Abu Ketel) Terhadap Porositas Tanah dan Pertumbuhan Tanaman Tebu Pada Ultisol. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* Vol. 2. No. 1: 119–127.
- Nurjanah, S. 2017. UPPO memperbaiki kesuburan lahan, mengangkat produksi. *Sinar Tani* edisi 19–25 Juli 2017. Hlm. 3.
- Peraturan Menteri Pertanian Nomor 70/Permentan/SR.140/10/2011 tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenah Tanah.
- Peraturan Menteri Pertanian Nomor 1 Tahun 2019 tentang Pendaftaran Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenah Tanah.
- Ponnamperuma, F.N. 1984. Straw as a source of nutrients for wetland rice. In: *Organik Matter and Rice*. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines: 117–136.
- Pusdatin. 2019. *Statistik Pertanian 2019*. Jakarta: Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Kementerian Pertanian.
- Ravichandran, M., P. Munisamy, C. Varadharaju and S. Natarajan. 2015. Methanogenic Archaea: A Multipotent Biological Candidate Focusing toward Realizing Future Global Energy. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* Vol. 4. No. 10: 785–793.
- Reim, A., M. Hernández, M. Klose, A. Chidthaisong, M. Yuttitham and R. Conrad. 2017. Response of Methanogenic Microbial Communities to Desiccation Stress in Flooded and Rainfed Paddy Soil from Thailand. *Front. Microbiol.* 05 May 2017. doi: 10.3389/fmicb.2017.00785.
- Sabba, F., C. Picioareanu and R. Nerenberg. 2017. Mechanisms of Nitrous Oxide (N<sub>2</sub>O) Formation and Reduction in Denitrifying Biofilms. *Biotechnol Bioeng.* Vol. 114. No. 12. December: 2753–2761. doi: 10.1002/bit.26399.
- Sardjono, N., B. Susilo dan Wignyanto. 2012. Strategi Pengembangan Sistem Produksi Pupuk Organik pada Unit Pengolahan Pupuk Organik (UPPO) di Desa Bangunsari Kabupaten Ciamis. *Jurnal Teknologi Pertanian* Vol. 13. No. 2. Agustus: 138–148.
- Scotti, R., G. Bonanomi, R. Scelza, A. Zoina and M.A. Rao. 2015. Organik Amendments as Sustainable Tool to Recovery Fertility in Intensive Agricultural Systems. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* Vol. 15. No. 2: 333–352.
- Setiarto, R.H.B. 2013. Prospek dan Potensi Pemanfaatan Lignoselulosa Jerami Padi menjadi Kompos, Silase dan Biogas melalui Fermentasi Mikroba. *Jurnal Selulosa* Vol. 3. No. 2. Desember: 51–66.

- Siddaram, V.C. Reddy and S.B. Yogananda. 2017. Effect of Farmyard Manure and Bio-digester Liquid Manure on Growth and Yield of Aerobic Rice (*Oryza sativa* L.). *Int. J. Pure App. Biosci.* Vol. 5. No. 1. February: 832V839; doi: 10.18782/2320-7051.2647.
- Sitepu, R. Br, I. Anas dan S. Djuniwati. 2017. Pemanfaatan Jerami sebagai Pupuk Organik untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Produksi Padi (*Oryza sativa*). *Buletin Tanah dan Lahan*, Vol. 1. No. 1. Januari: 100–108.
- Sumarno, U.G. Kartasasmita dan D. Pasaribu. 2009. Pengayaan Kandungan Bahan Organik Tanah Mendukung Keberlanjutan Sistem Produksi Padi Sawah. *Iptek Tanaman Pangan* Vol. 4. No. 1. Juli: 18–32.
- Supriyadi. 2018. Perspektif Keamanan dan Kualitas tanah dalam Pertanian Keberlanjutan. Pidato Pengukuhan Guru Besar Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Tangketasik, A., N.M. Wikarniti, N.N. Soniari dan I W. Narka. 2012. Kadar Bahan Organik Tanah pada Tanah Sawah dan Tegalan di Bali serta Hubungannya dengan Tekstur Tanah. *Agrotrop* Vol. 2 No. 2: 101–107.
- Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2019 tentang Sistem Budidaya Pertanian Berkelanjutan.
- White, P.J., J.W. Crawford, M.C.D. Alvarez and R.G. Moreno. 2014. Soil Management for Sustainable Agriculture 2013. *Applied and Environmental Soil Science* Vol. 2014, Article ID 536825, 2 pages. dx.doi.org/10.1155/2014/536825.
- Wihardjaka, A. 2011. Pengaruh Sistem Tanam dan Pemberian Jerami Padi terhadap Emisi Metana dan Hasil Padi Ciherang di Ekosistem Sawah Tadah Hujan. *Pangan* Vol. 20. No. 4. Desember: 357–364.
- Wihardjaka, A. 2015. Peran Jerami Padi dalam Memperbaiki Hasil Gabah dan Serapan Kalium di Lahan Sawah Tadah Hujan di Kabupaten Pati, Jawa Tengah. *Agric.* Vol. 27. No. 1 & 2. Juli–Desember: 15–22. doi: 10.24246/agric.2015.v27.i1.p15–22.
- Wihardjaka, A. 2018. Penerapan Model Pertanian Ramah Lingkungan sebagai Jaminan Perbaikan Kuantitas dan Kualitas Hasil Tanaman Pangan. *Pangan* Vol. 27 No. 2. Agustus: 155–164.
- Wihardjaka, A., P. Setyanto dan A.K. Makarim. 1999. Pengaruh penggunaan bahan organik terhadap hasil padi dan emisi gas metana pada lahan sawah. *Risalah Seminar Hasil Penelitian Emisi Gas Rumah Kaca dan Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Sawah*. Puslitbangtan. Bogor: 44–53.
- Wihardjaka, A., Suyanto dan E. Suprptomo. 2015. Model pertanian ramah lingkungan: penerapan sistem integrasi tanaman pangan ternak di agroekologi sawah tadah hujan di Jawa Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Sistem Informasi dan Pemetaan Sumberdaya Lahan Mendukung Swasembada Pangan*. Bogor, 29–30 Juli 2015: 81–92.
- Zhang, H., H. Liu, D. Hou, Y. Zhou, M. Liu, Z. Wang, L. Liu, J. Gu, and J. Yang. 2019. The Effect of Integrative Crop Management on Root Growth and Methane Emission of Paddy Rice. *The Crop Journal* Vol. 7. Issue 4. August: 444–457. Doi: 10.1016/j.cj.2018.12. 011.

#### BIODATA PENULIS:

**Anicetus Wihardjaka** dilahirkan di Padang Panjang, tanggal 17 April 1964. Penulis menyelesaikan S1 dari Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada Yogyakarta tahun 1990, S2 dari Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor tahun 2001, dan S3 dari Sekolah Pasca Sarjana Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Gadjah Mada tahun 2011.

**Elisabeth Srihayu Harsanti** dilahirkan di Klaten, tanggal 29 Januari 1970. Penulis menyelesaikan S1 dari Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada Yogyakarta tahun 1994, S2 dari Sekolah Pasca Sarjana Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Gadjah Mada Yogyakarta tahun 2008, dan S3 dari Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Indonesia Jakarta tahun 2017.