

## **PENGARUH BUDIDAYA PADI ORGANIK TERHADAP KOMPAKSI DAN TRANSFORMASI LAPISAN TAPAK BAJAK**

**Valensi Kautsar**

Institut Pertanian Stiper Yogyakarta  
Jl. Nangka II, Maguwoharjo, Yogyakarta  
E-mail : valkauts@instiperjogja.ac.id

### **ABSTRACT**

*The experiment was carried out to understand the impacts organic farming system on physical properties of plough pan layer. For this purpose, nine soil profiles from three locations in Sragen District, Central Java Province were analyzed. Nine profiles are representative three systems, i.e. conventional, semi-organic and organic paddy fields. The results showed that organic farming can attenuate the thickness of plough pan, recorded from 10-20 cm on conventional system become 4-7 cm on organic system. The bulk density and particle density at plough pan layer on the three treatments showed no significant differences, ranging between 1.5-1.6 and 2.2-2.23 g cm<sup>-3</sup> respectively. From nine soil profiles, the formation of plough pan layer cause decrease in permeability of 89.71% compared to the above layer. In relation to soil physical properties, has not shown any effect of organic matter application to plough pan layer characteristics. But it shows the influence of hand tractor on soil physical properties. Utilization of hand tractor was cause of increasing soil penetration at plough pan layer on semi-organic farming. Soil penetration on the conventional, semi-organic and organic are 1.63, 1.86, and 1.61 kg cm<sup>-2</sup> respectively.*

*Keywords : plough pan layer, organic farming system, organic matter*

### **PENDAHULUAN**

Budidaya padi intensif mengakibatkan perubahan tanah baik sementara maupun permanen. Perubahan ini dapat diakibatkan adanya praktek budidaya antara lain seperti pengolahan tanah, penggenangan, pemupukan, dan penambahan bahan organik (Wissing *et al.*, 2013; Maie *et al.*, 2002; Kölbl *et al.*, 2014). Di lahan sawah, struktur tanah bagian atas akan mengalami homogenisasi akibat pelumpuran dan membentuk tapak bajak akibat pepadatan secara mekanik (Moormann dan van Breemen, 1978; Sander *et al.*, 2008). Lapisan inilah yang

seringkali membatasi kedalaman perakaran efektif tanaman, khususnya padi sawah. Perakaran tanaman menjadi terhambat disebabkan karena seringkali lapisan tapak bajak terbentuk pada kedalaman 15-20 cm (Oberthur *et al.*, 1997).

Struktur tanah dianggap sebagai kualitas yang menggambarkan parameter penting tanah yang tidak hanya mempengaruhi pertukaran udara, kemudahan pengolahan dan retensi air, tetapi juga mempengaruhi interaksi tanah atau tanaman seperti perkembangan akar padi dan transportasi air, udara dan unsur kimia (Sander *et al.*, 2008; Lal dan Manoj,

2004; Lal, 1979<sup>a</sup>). Dibandingkan dengan permukaan tanah, tapak bajak memiliki kepadatan (dalam kondisi kering) yang lebih tinggi dan memiliki pori meso dan makro yang relatif lebih sedikit (Moormann dan van Breemen, 1978).

Porositas total dan berat volume merupakan dua parameter yang sering digunakan untuk menilai struktur tanah (Lal, 1979<sup>b</sup>; Trowse, 1979). Secara umum, berat volume tanah dapat digunakan untuk menilai kerusakan tanah oleh pemadatan tanah dan faktor lain yang terkait dengan respon tanaman. Namun lahan pertanian jarang mengalami pemadatan yang seragam, hal ini tergantung pada cara pengolahan lahan tersebut (Trowse, 1979). Benito *et al.* (1999) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa pengolahan tanah secara tradisional menyebabkan pemadatan tanah dalam skala yang kecil. Sementara pemadatan lebih besar terjadi pada lapisan bawah (subsoil).

Pemadatan tanah akan menyusun ulang partikel tanah, mengubah distribusi ukuran pori dan konektivitas yang mengarah ke penurunan tingkat infiltrasi, konduktivitas hidrolis jenuh dan porositas, menyebabkan peningkatan berat volume dan merubah sifat fisik tanah lainnya. Pemadatan tanah disamping itu dapat mempengaruhi penyerapan dan kehilangan unsur hara dalam sistem pertanian. Secara umum, kondisi tanah yang baru akan

memberikan kontribusi untuk peningkatan aliran permukaan dan erosi tanah yang mengarah pada penurunan produktivitas secara keseluruhan (Bertolino *et al.*, 2010; Lal, 1979<sup>a</sup>, Haile *et al.*, 2006).

Trowse, 1979 menjelaskan bahwa penyebab tapak bajak lebih disebabkan adanya penggunaan alat berat dalam mengolah tanah. Namun Trowse juga mengungkapkan bahwa tapak bajak juga dapat terbentuk pada lahan pertanian yang dikelola secara intensif akibat tanah terinjak oleh manusia atau hewan dalam usaha pengolahan tanah. Penelitian menunjukkan bahwa tindakan pengolahan secara ringan yang digunakan dalam budidaya padi tradisional juga dapat membentuk lapisan tapak bajak. Hal ini membuktikan bahwa tekanan yang diberikan oleh kaki manusia atau hewan yang digunakan selama pengolahan, juga merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap pemadatan tersebut (Moormann dan van Breemen, 1978).

Perubahan sistem dari budidaya padi konvensional menjadi organik dimungkinkan akan merubah karakteristik tapak bajak. Hal ini disebabkan karena adanya penambahan bahan organik dalam jumlah besar pada sistem budidaya pertanian organik yang akan merubah karakteristik fisika dan kimia tanah. Selain itu perbedaan karakteristik juga dapat disebabkan karena perbedaan pengelolaan

tanah dan irigasi yang terdapat pada pertanian konvensional dan organik. Oleh karenanya tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan karakteristik fisika tapak bajak pada budidaya organik padi sawah akibat pembajakan.

## **METODOLOGI**

Penelitian ini dilakukan di Kecamatan Sambirejo, Kabupaten Sragen, Jawa Tengah. Pengambilan sampel berada di desa Musuk, Jetis dan Sukorejo yang masing-masing mewakili pertanian konvensional, semi-organik dan organik. Pada lokasi yang telah ditentukan dilakukan pembuatan profil tanah konvensional, semi-organik dan organik masing-masing sebanyak 3 profil.

Masing-masing profil, akan diambil sampel tiap lapisan, sehingga mampu menunjukkan perubahan tiap lapisan serta mampu menggambarkan perubahan tapak bajak akibat pengaruh pertanian organik. Sampel tanah diambil dengan menggunakan belati atau sekop pada 3 lapisan. Sampel tanah yang telah dibersihkan dari sisa tanaman, akar, atau kerikil tersebut kemudian dikompositkan. Sampel yang telah dikompositkan ini kemudian diayak sesuai keperluan untuk analisis di laboratorium. Selain itu juga dilakukan juga wawancara terhadap petani padi sawah mengenai pola tanam, pengolahan tanah, pemeliharaan, dan

pemupukan yang meliputi dosis dan jenis pupuk, hasil panen serta keterangan-keterangan lain yang diperlukan.

Parameter yang diamati antara lain meliputi penetrasi tanah (*hand penetrometer*), berat volume (*ring sample*), berat jenis (*piknometer*), porositas dan permeabilitas tanah (*permeameter*).

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

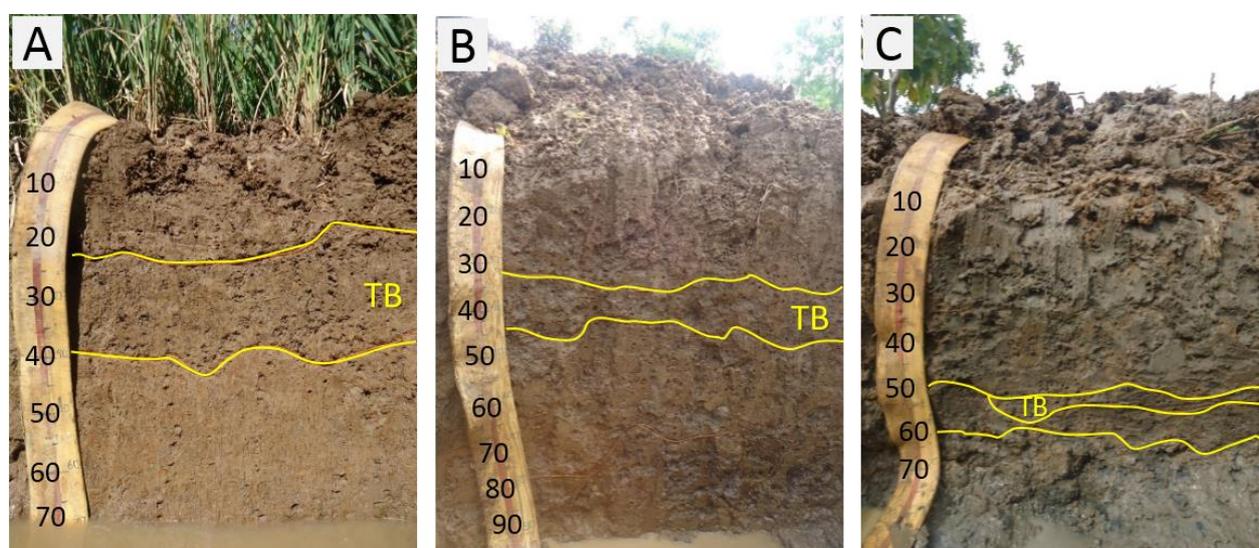
### **Profil Tanah**

Profil di desa Musuk yang masih menggunakan sistem konvensional terbagi menjadi 3 lapisan, dengan lapisan I yang merupakan lapisan olah berada pada kedalaman sekitar 0-25 cm. Pada 3 profil tanah konvensional menunjukkan lapisan tapak bajak berada pada lapisan kedua, yakni pada kedalaman 25-40 cm, dengan rata-rata tebal beragam 10-20 cm. Sementara pertanian semi-organik memiliki lapisan tapak bajak yang lebih dalam, yakni berkisar 35-45 cm, dengan ketebalan yang relatif tipis dibandingkan tanah konvensional, yakni berkisar 10-15 cm.

Dibandingkan tanah sawah konvensional dan tanah sawah semi-organik yang menunjukkan batas lapisan secara tegas, tanah di desa Sukorejo yang telah melakukan pertanian organik lebih dari 12 tahun memiliki perbedaan lapisan yang baur dan terputus. Lapisan olah di tanah sawah organik relatif lebih dalam

dibandingkan kedua tanah lain, baik konvensional maupun semi-organik. Kedalaman lapisan olah pada sawah organik sekitar 35-40 cm, bahkan dapat mencapai 50-55 cm (Gambar 1). Pemberian bahan organik dalam jumlah besar, berkala dan dalam waktu yang lama menyebabkan lapisan olah di tanah sawah menjadi lebih tebal dan menjadikan struktur tanah lebih

mudah diolah. Hal ini juga akan bermanfaat dalam perakaran tanaman yang dapat menjangkau lebih dalam sehingga lebih mampu menyerap unsur hara dengan lebih baik. Tapak bajak di tanah sawah desa Sukorejo rata-rata berada pada kedalaman 48-56 cm dengan batas lapisan yang tidak rata dan terkadang menghilang.



Gambar 1. Profil tanah pada ketiga lokasi penelitian. TB merupakan lapisan tapak bajak. (A) konvensional, (B) semi-organik, (C) organik.

### Penetrasi Tanah

Penetrasi tanah merupakan daya yang diperlukan oleh sebuah benda untuk dapat masuk ke dalam tanah, yang umumnya dikaitkan dengan daya yang diperlukan oleh akar tanaman untuk menembus tanah. Sehingga penetrasi tanah merupakan gambaran dari kemampuan akar tanaman menembus tanah. Lapisan tapak bajak merupakan lapisan yang paling sulit

ditembus oleh akar, sehingga dalam pengukuran penetrometer lapisan tapak bajak akan menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan lapisan lain. Dua pengukuran yang umum dijadikan petunjuk lapisan tersebut adalah lapisan tapak bajak adalah penetrometer dan berat volume (Podder *et al.*, 2012). Berdasarkan hasil penetrometer pada profil dan analisis berat

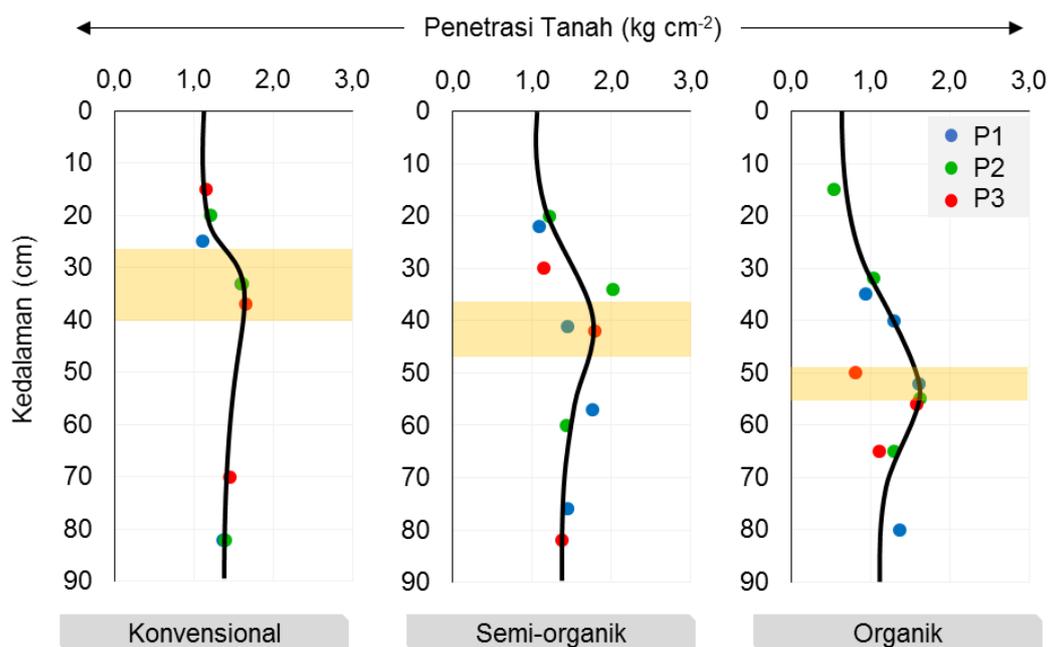
volume di laboratorium, lapisan tapak bajak dapat ditentukan dengan valid.

Pada lapisan tapak bajak tanah organik menunjukkan nilai penetrasi tanah yang lebih rendah dibandingkan tanah pada konvensional maupun semi-organik, dengan rata-rata sebesar  $1,61 \text{ kg cm}^{-2}$ . Sementara tanah konvensional memiliki penetrasi tanah sebesar  $1,63 \text{ kg cm}^{-2}$  dan lahan semi-organik memiliki nilai penetrasi tanah yang tertinggi, yakni mencapai  $1,86 \text{ kg cm}^{-2}$ . Hal ini tentunya menjadi salah satu perhatian yang penting, mengapa lahan semi-organik memiliki nilai rata-rata penetrasi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan lahan organik atau bahkan lahan konvensional. Padahal lahan semi-organik mendapatkan banyak asupan bahan organik sebanyak 4.8-9 ton/ha/tahun selama beberapa tahun terakhir.

Penyebab utama tingginya penetrasi tanah pada lahan semi organik dibandingkan dua lahan lain adalah lamanya penggunaan traktor pada saat pengolahan tanah. Desa Jetis telah menggunakan traktor sejak pertengahan tahun 1990, bahkan sebagian telah menggunakan sejak tahun 1993. Sehingga penggunaan traktor ini telah berjalan selama lebih dari 20 tahun. Sementara di desa Musuk yang masih menerapkan pertanian konvensional, penggunaan

traktor baru berjalan sekitar 10 tahun, bahkan pada teras bagian bawah, penggunaan traktor baru berjalan kurang dari 8 tahun. Sedangkan di desa Sukorejo, penggunaan traktor baru dimulai secara intensif selama 5 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan traktor merupakan penyebab utama penetrasi tanah, dan pemberian bahan organik dalam jumlah besar belum dapat mengurangi pengaruh dari penggunaan traktor tersebut, seperti yang terjadi pada lahan semi-organik. Penelitian yang dilakukan oleh Gronle *et al.*, 2015 menunjukkan bahwa pembajakan pada lapisan yang dangkal lebih dapat meningkatkan penetrasi pada kedalaman 14–28 cm dibandingkan pembajakan pada lapisan dalam.

Selain itu pada lapisan atas, tanah sawah organik di desa Sukorejo memiliki nilai penetrasi yang lebih rendah diantara tanah yang lain. Hal ini disebabkan karena selain penggunaan traktor yang relatif masih baru, pemberian bahan organik yang sangat besar sejak lama menjadi salah satu sebab utamanya. Sehingga, hal ini mengindikasikan bahwa bahan organik berperan dalam memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kemudahan tanah untuk diolah dan ditembus oleh perakaran tanaman.

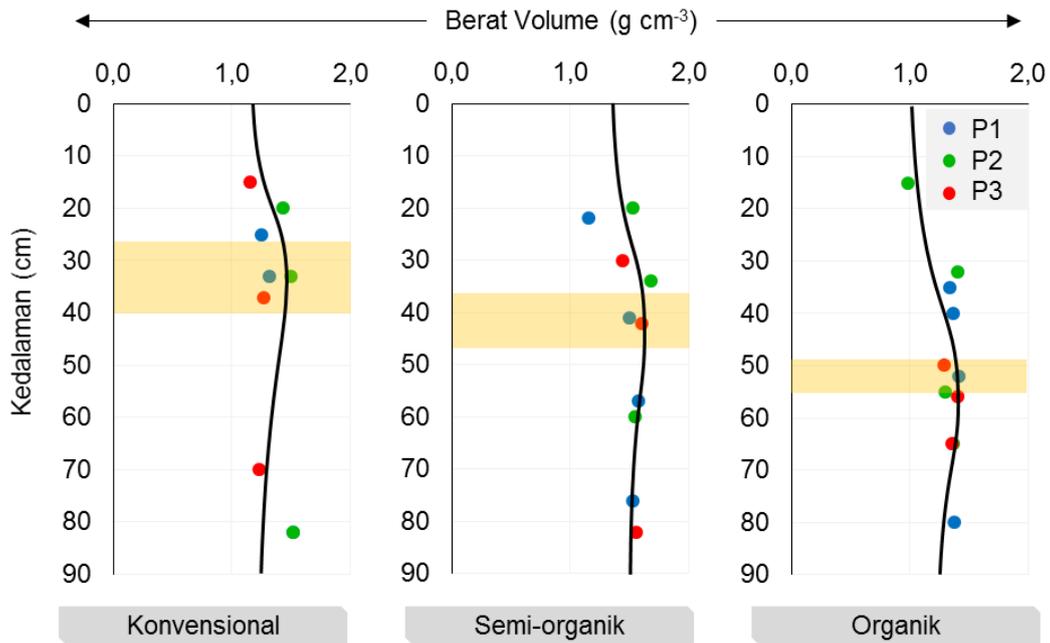


Gambar 2. Pengaruh sistem budidaya padi terhadap penetrasi tanah

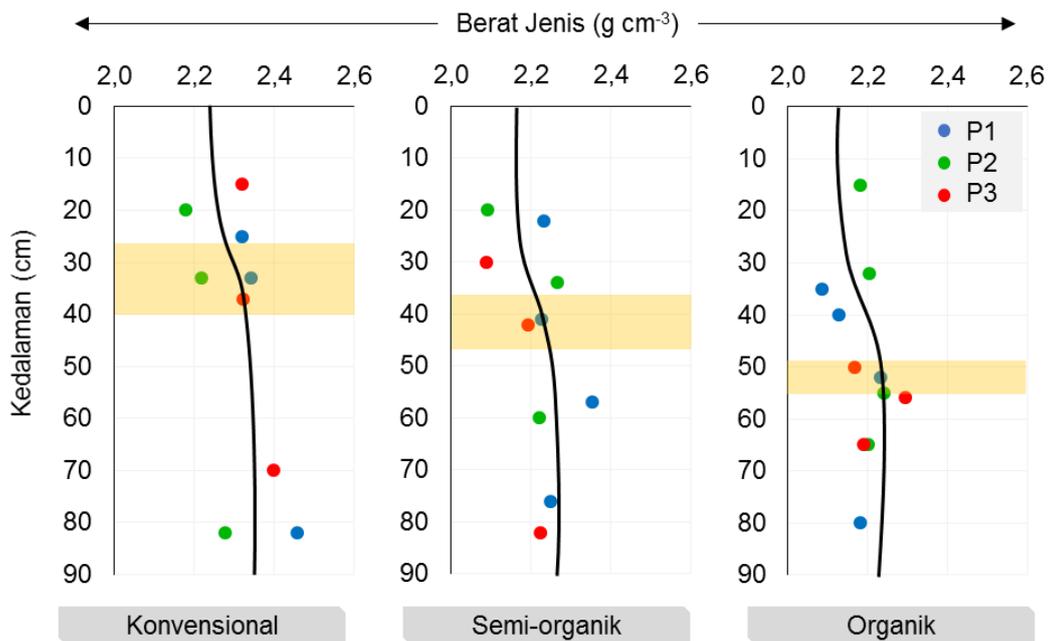
### Berat Volume dan Berat Jenis

Berat volume pada tanah sawah organik memiliki nilai yang paling rendah dibandingkan kedua perlakuan lainnya. Namun perbedaan antara tanah sawah organik dan konvensional tidaklah signifikan. Sementara berat volume tanah semi-organik memiliki nilai yang paling tinggi diantara ketiga perlakuan (Gambar 3). Hal ini sejalan dengan penetrasi tanah yakni peningkatan berat volume pada tanah semi-organik disebabkan oleh penggunaan traktor yang telah lama.

Tanah konvensional menunjukkan nilai berat jenis yang paling tinggi dibandingkan dengan dua tanah lainnya pada keseluruhan lapisan. Pada lapisan atas tanah konvensional, semi-organik dan organik masing-masing memiliki rata-rata berat jenis sebesar 2,27 g cm<sup>-3</sup>, 2,14 g cm<sup>-3</sup>, dan 2,14 g cm<sup>-3</sup>. Pada lapisan tapak bajak, ketiga perlakuan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, yakni berkisar antara 2,2-2,23 g cm<sup>-3</sup> (Gambar 4).



Gambar 3. Pengaruh sistem budidaya padi terhadap berat volume tanah



Gambar 4. Pengaruh sistem budidaya padi terhadap penetrasi tanah

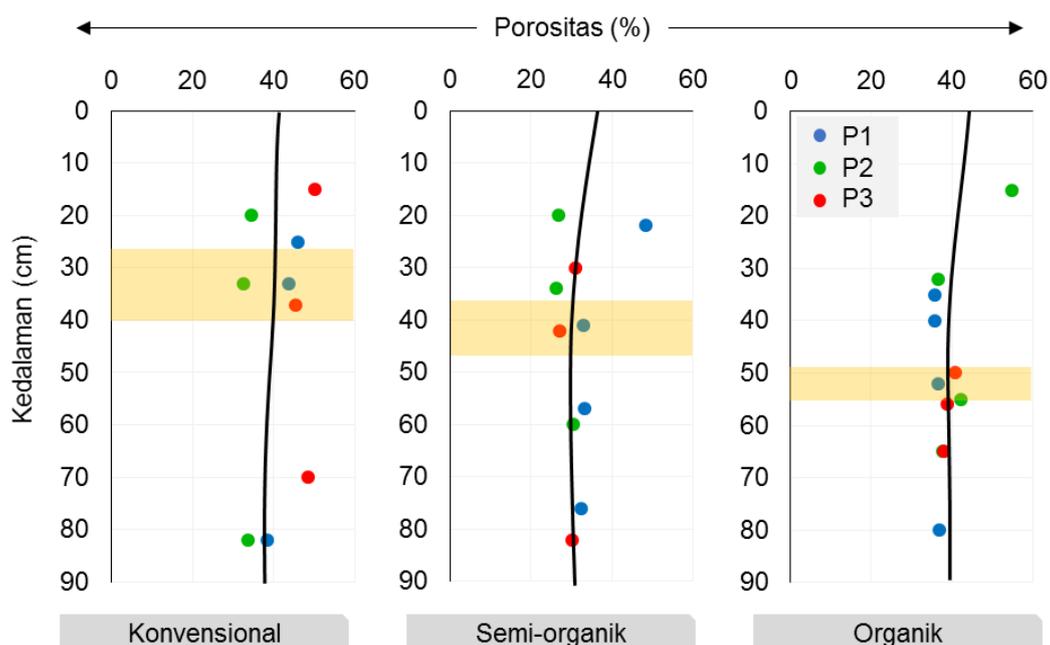
### Porositas

Porositas tanah mengacu pada volume rongga tanah yang dapat diisi dengan air dan atau udara (Tan, 2000). Porositas bervariasi tergantung pada ukuran

partikel dan agregasi tanah. Nimmo, 2004 menjelaskan bahwa porositas tanah tergantung pada beberapa faktor antara lain kepadatan tanah, luas distribusi ukuran partikel (*polydisperse* atau *monodisperse*),

bentuk partikel, dan sementasi. Pada tanah konvensional dan organik secara umum menunjukkan porositas tanah rata-rata berkisar 36-43% dan menurun seiring dengan kedalaman tanah. Sementara pada tanah semi-organik menunjukkan porositas tanah yang lebih rendah dibandingkan

dengan kedua perlakuan. Porositas pada tanah semi-organik pada lapisan atas sebesar 35%, pada kedalaman 30 cm, 60 cm dan 90 cm menurun masing-masing menjadi sebesar 33%, 31% dan 30% (Gambar 5).



Gambar 5. Pengaruh sistem budidaya padi terhadap porositas

### Permeabilitas

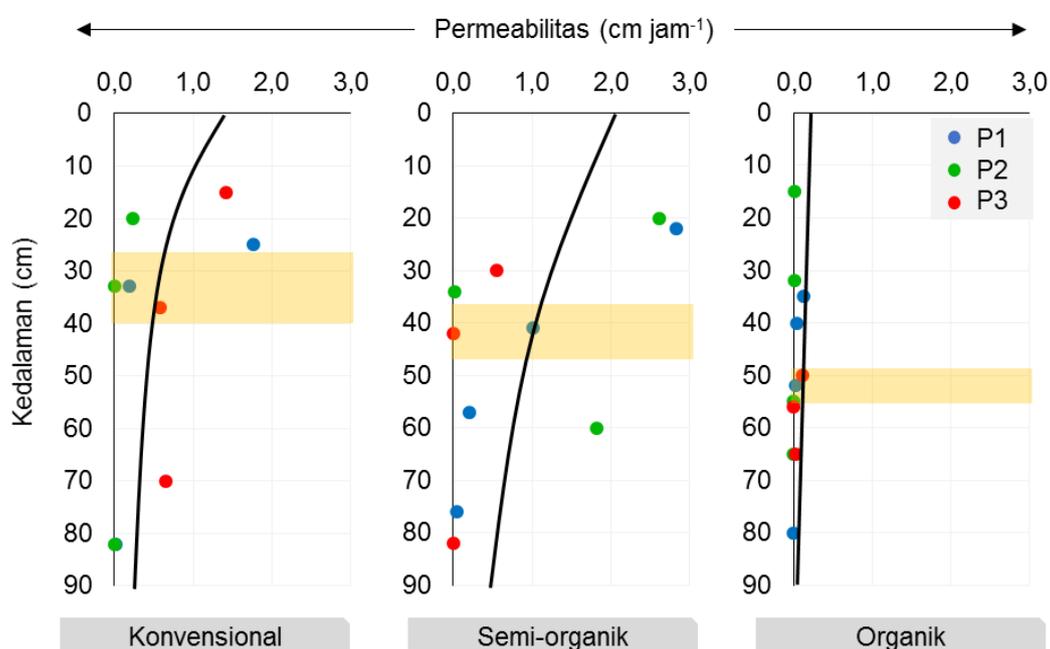
Permeabilitas merupakan parameter untuk mengkarakterisasi kemampuan tanah untuk mengangkut air. Sehingga permeabilitas adalah ukuran kemampuan tanah untuk mengalirkan air melalui pori-pori atau rongga (*void*). Koefisien permeabilitas disebut juga sebagai konduktivitas hidrolis. Konduktivitas hidrolis tanah tergantung pada beberapa faktor, yakni viskositas air, distribusi ukuran pori, distribusi ukuran butiran, rasio

*void*, dan derajat kejenuhan tanah (Manoj dan Lal, 2006; Punmia *et al.*, 2005). Pengolahan tanah dapat menyebabkan perubahan sifat permeabilitas tanah dan berbagai proses pada pergerakan air (Oyedele *et al.*, 1999), hara tanah dan berpengaruh pada pertumbuhan tanaman (Strudley *et al.*, 2008).

Baik pada lapisan atas maupun pada lapisan tapak bajak, ketiga sistem budidaya tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan ( $P > 0,05$ ). Pada lahan

konvensional, permeabilitas tanah menurun seiring dengan kedalaman tanah, dengan penurunan yang tajam terjadi pada lapisan tapak bajak, yakni sebesar 77,65% dibandingkan lapisan atas. Secara umum dari sembilan profil tanah, pembentukan lapisan tapak bajak menyebabkan penurunan permeabilitas sebesar 89,71% dibandingkan pada lapisan atas. Penurunan

permeabilitas tanah terbesar terjadi pada lahan semi-organik, yakni pada lapisan tapak bajak permeabilitas tanah menurun sebesar 93,12% dibandingkan lapisan atas. Penurunan yang tinggi ini disebabkan karena penggunaan traktor yang lama pada sawah semi-organik. Terbukti pada lahan konvensional dan lahan organik, penurunan permeabilitas tidak lebih dari 80%.



Gambar 6. Pengaruh sistem budidaya padi terhadap permeabilitas

## KESIMPULAN

Perubahan lapisan tapak bajak terkait dengan pengelolaan pertanian organik dapat dijelaskan dari berbagai parameter fisika yang telah diamati. Perubahan yang sangat jelas terjadi pada analisis penetrometer, yakni ketahanan tanah menurun pada tanah organik dibandingkan tanah konvensional. Demikian pula dengan

parameter berat volume yang memiliki kecenderungan tanah sawah organik lebih rendah dibandingkan tanah konvensional. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian bahan organik secara berkala, dalam jumlah yang cukup besar dan pada jangka waktu lama mampu menurunkan penetrasi tanah dan berat volume. Disisi lain yang perlu mendapat perhatian adalah pemberian

bahan organik dan lama penggunaan traktor pada padi sawah saat pengolahan. Lama penggunaan traktor berakibat pada peningkatan penetrasi dan berat volume meskipun lahan tersebut diaplikasikan pupuk organik dalam jumlah yang cukup besar.

Berdasarkan lapisan olah tanah, maka tanah konvensional hanya memiliki lapisan olah sebesar 20-25 cm, tanah sawah semi-organik sebesar 30-45 cm, sementara tanah sawah organik memiliki ketebalan sebesar 40-50 cm. Hal ini menunjukkan bahwa bahan organik berperan dalam meningkatkan ketebalan lapisan olah. Peningkatan ketebalan lapisan olah ini dimungkinkan melalui tiga hal, *pertama* dengan penambahan bahan organik dalam jumlah besar, maka akan terdapat akumulasi bahan organik dalam jumlah besar yang terdapat pada lapisan olah. Sehingga pada jangka waktu yang lama, hal ini akan secara langsung meningkatkan lapisan olah. *Kedua*, penambahan bahan organik ini akan memperbaiki struktur tanah menjadi gembur, sehingga tebal lapisan yang dapat diolah menjadi meningkat. *Ketiga*, dengan penambahan bahan organik, maka lapisan tapak bajak akan mengalami perubahan karakteristik kimia akibat asam-asam organik, sehingga lapisan bajak mengalami perubahan yang pada akhirnya ketebalan lapisan bajak menjadi berkurang. Dengan menurunnya

ketebalan lapisan tapak bajak, maka lapisan olah akan meningkat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Benito, A., Sombrero, A. dan Escribano, C. 1999. Influencia del laboreo de conservación sobre la propiedades del suelo (The effect of conservation tillage on soil properties). Agricultura. Revista Agropecuaria. 804 : 538 - 541.
- Bertolino, Ana V.F.A., Nelson F. Fernandes, João P.L. Miranda, Andréa P. Souza, Marcel R.S. Lopes dan Francesco Palmieri. 2010. Effects of plough pan development on surface hydrology and on soil physical properties in Southeastern Brazilian plateau. Journal of Hydrology. 393 : 94 - 104.
- Gronle, A., G. Lux, H. Böhm, K. Schmidtke, M. Wild, M. Demmel, R. Brandhuber, K. Wilbois, dan J. Heß. 2015. Effect of ploughing depth and mechanical soil loading on soil physical properties, weed infestation, yield performance and grain quality in sole and intercrops of pea and oat in organic farming. Soil & Tillage Research. 148 : 59–73.
- Haile, M., Karl H. dan Brigitta S. 2006. Sustainable Land Management – A New Approach to Soil and Water Conservation in Ethiopia. Mekelle University, Ethiopia: Land Resources

- Management and Environmental Protection Department, Mekelle University; Bern, Switzerland: Centre for Development and Environment (CDE), University of Bern, and Swiss National Centre of Competence in Research (NCCR) North-South.
- Kölbl, A. P. Schad, R. Jahn, W. Amelung, A. Bannert, Z.H. Cao, S. Fiedler, K. Kalbitz, E. Lehndorff, C. Müller-Niggemann, M. Schloter, L. Schwark, V. Vogelsang, L. Wissing, dan I. Kögel-Knabner. 2014. Accelerated soil formation due to paddy management on marshlands (Zhejiang Province, China). *Geoderma* 228 - 229 : 67 - 89.
- Kyuma, K. 2004. *Paddy Soil Science*. Kyoto University Press and Trans Pacific Press. Melbourne.
- Lal, R. 1979<sup>a</sup>. The Role of Physical Properties in Maintaining Productivity of Soils in the Tropics. Dalam : *Soil Physical Properties and Crop Production in the Tropics*. Editor : R. Lal and D.J. Greenland. John Wiley and Sons.
- Lal, R. 1979<sup>b</sup>. Physical Characteristics of Soils of the Tropics : Determination and Management. Dalam : *Soil Physical Properties and Crop Production in the Tropics*. Editor : R. Lal and D.J. Greenland. John Wiley and Sons.
- Lal, R. dan Manoj K. Shukla. 2004. *Principles of Soil Physics*. Marcel Dekker Inc. New York.
- Li, Z., Ming L., Xiaochen W., Fengxiang H. and Taolin Z. 2010. Effects of long-term chemical fertilization and organic amendments on dynamics of soil organic C and total N in paddy soil derived from barren land in subtropical China. *Soil and Tillage Research*. 106 : 268 - 274.
- Maie, N. A. Watanabe, K. Hayamizu dan M. Kimura. 2002. Comparison of chemical characteristics of Type A humic acids extracted from subsoils of paddy fields and surface and soils. *Geoderma*. 106 : 1 - 19.
- Manoj, K. Shukla dan R. Lal. 2006. Air Permeability of Soils. Dalam : *Encyclopedia of Soil Science* 2nd Edition. Editor : Rattan Lal. Taylor and Francis.
- Moormann, F.R. dan N. van Breemen. 1978. *Rice : Soil, Water, Land*. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.
- Nimmo, J.R. 2004. Porosity and Pore Size Distribution. Dalam : *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Volume 3. Editor : D. Hillel, C. Rosenzweig, D. Powlson, K. Scow, M. Singer and D. Sparks. London, Elsevier.
- Oberthur, T., P.F. White, R.T. Reyes, A. Dobermann, P. Sovuthy, dan J.F.

- Rickman. 1997. Major Soils of the Rice-Growing Areas. Dalam : The Soils Used for Rice Production in Cambodia : A Manual for their Identification and Management. Cambodia-IRRI-Australia Project. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines.
- Podder, M., M. Akter, A.S.M. Saifullah and S. Roy. 2012. Impacts of Plough Pan on Physical and Chemical Properties of Soil. *Journal of Environmental Science and Natural Resources*. 5 (1) : 289 – 294.
- Pramanik, P. and P.J. Kim. 2014. Fractionation and characterization of humic acids from organic amended rice paddy soils. *Science of the Total Environment*. 466 - 467 : 952 - 956.
- Punmia, B.C., Ashok K.J., dan Arun K.J. 2005. *Soil Mechanics and Foundations*. 16<sup>th</sup> Edition. Laxmi Publications.
- Sander, T., Horst H. Gerke, dan H. Rogasik. 2008. Assessment of Chinese paddy-soil structure using X-ray computed tomography. *Geoderma*. 145 : 303 - 314.
- Strudley, M.W., Timothy R. Green, dan James C. Ascough II. 2008. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. *Soil and Tillage Research*. 99 : 4 – 48
- Tan, K.H. 2000. *Environmental Soil Science*. Second Edition, Revised and Expanded. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Toriyama, K., Heong K.L. and Hardy B. 2005. Rice is life: scientific perspectives for the 21st century. Proceedings of the World Rice Research Conference held in Tokyo and Tsukuba, Japan, 4-7 November 2004. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute, and Tsukuba (Japan): Japan International Research Center for Agricultural Sciences.
- Trouse, A.C. 1979. *Soil Physical Characteristics and Root Growth*. Dalam : *Soil Physical Properties and Crop Production in the Tropics*. Editor : R. Lal and D.J. Greenland. John Wiley and Sons.
- Wissing, L., Angelika K., Werner H., Peter S., Zhi-Hong C., dan Ingrid K. 2013. Management-induced organic carbon accumulation in paddy soils: The role of organo-mineral associations. *Soil and Tillage Research*. 126 : 60 - 71.