

PERUBAHAN KANDUNGAN BESI DAN MANGAN TERLARUT PADA LAPISAN TAPAK BAJAK DI LAHAN SAWAH ORGANIK

Valensi Kautsar

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

ABSTRACT

The dynamics of paddy fields and changes from conventional systems to organic causes soil chemical changes that may affect the plow pan layer. The purpose of this study was to determine changes in the content of Fe and Mn in organic farming and plow pan layers. Nine profiles representing three systems of rice cultivation (conventional, semi-organic and organic) were analyzed to determine the dissolved Fe and Mn content, and the content of Fe, Mn and Al using three selective solvents (DCB, oxalate, and pyrophosphate). The results showed there were differences in each layer due to the influence of the cultivation system and the plow pan layer. In the plow pan layer, there were accumulations of Fe and Mn which increased by 4.28% and 5.78% respectively. Fe and Mn bound by organic matter were recorded to increase by 4.74 times and 2.73 times on organic compared to conventional.

Keywords: plow pan layer, organic farming system, iron, manganese, three selective solvent

PENDAHULUAN

Budidaya padi dapat mengakibatkan perubahan tanah baik sementara maupun permanen yang 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). Pada struktur tanah bagian atas tanah sawah akan mengalami homogenisasi akibat pelumpuran dan membentuk tapak bajak (Moormann dan van Breemen, 1978; Sander *et al.*, 2008). Lapisan inilah yang seringkali membatasi kedalaman perakaran efektif tanaman (Kautsar, 2017).

Adanya penggenangan di lahan sawah, menyebabkan pergerakan oksigen jauh lebih lambat dalam air daripada di udara, sehingga pasokan

oksigen dari udara tidak dapat memenuhi kebutuhan oksigen organisme aerobik dalam tanah. Hal ini menyebabkan kondisi anaerobik di dalam tanah (Armstrong, 1979; Conklin, 2005; Ponnampuruma, 1985; Watanabe, 1984; Kyuma, 2004; Prakongkep *et al.*, 1997; Prasanna *et al.*, 2010) dekomposisi bahan organik juga menjadi terhambat (Kyuma, 2004) dan pelepasan dalam jumlah besar bahan organik terlarut (*Dissolved Organic Matter* - DOM) ke dalam larutan tanah (Reddy dan DeLaune, 2008; Grybos *et al.*, 2009). Penelitian sebelumnya menemukan bahwa di lahan tergenang terdapat korelasi positif antara dinamika pelepasan bahan organik terlarut, konsentrasi Mn^{2+} dan Fe^{2+} (Grybos *et al.*, 2009).

Sifat dinamis dari tanah tergenang menyebabkan perubahan hara dalam tanah (Kölbl *et al.*, 2014; Conklin, 2005; Ponnampuruma, 1985; Grybos *et al.*, 2009; Wissing *et al.*, 2013) termasuk konsentrasi P, K, dan Si dalam larutan tanah (Yoshida, 1981). Perubahan sifat-sifat kimia dan mineralogi tanah yang menghasilkan sifat permanen profil tanah utamanya ditunjukkan oleh proses reduksi-oksidasi Fe dan Mn serta proses eluviasi dan iluviasi (Wissing *et al.*, 2013).

Proses reduksi-oksidasi juga dapat menghasilkan mineral-mineral oksida Fe dan Mn tertentu (Hardjowigeno dan Rayes, 2005). Dalam keadaan tergenang Mn^{4+} dan Mn^{3+} [Mn(IV) dan Mn(III) hidroksida] tereduksi menjadi Mn^{2+} . Reduksi Mn ini terjadi pada kondisi Eh yang lebih tinggi dibandingkan dengan Fe(III) oksida, sehingga reaksi reduksi Mn(IV) dan Mn(III) lebih dahulu dibandingkan dengan reduksi Fe(III) (Ponnampuruma, 1985; Hardjowigeno dan Rayes, 2005; Reddy dan DeLaune; 2008). Setelah mengalami reduksi, konsentrasi Mn^{2+} larut air akan meningkat, kemudian menurun dan bergerak stabil mendatar (Ponnampuruma, 1985; Yoshida, 1981; Reddy dan DeLaune; 2008).

Pada tanah tergenang, senyawa Fe dan Mn tereduksi menjadi ion Fe dan Mn yang jauh lebih mudah bergerak. Adanya pergerakan air melalui solum tanah, menyebabkan ion Fe dan Mn terlindi dari lapisan atas menuju lingkungan lebih oksidatif di bagian yang lebih dalam (Kyuma, 2004). Sebagai proses yang diatur oleh potensial redoks masing-masing, oksida Fe dan Mn cenderung untuk mengendap

terpisah (Ponnampuruma, 1985; Hardjowigeno dan Rayes, 2005; Reddy dan DeLaune; 2008). Pengendapan Fe dan Mn dibawah situasi reduktif inilah yang menjadi penyebab terbentuknya lapisan tapak bajak secara kimiawi pada proses penyawahan (Hardjowigeno dan Rayes, 2005; Soeprtohardjo dan Suhardjo, 1978).

Sistem budidaya padi organik sangat dimungkinkan akan merubah karakteristik lapisan 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. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan kandungan Fe, Mn dan Al pada pertanian organik dan lapisan tapak bajak.

METODOLOGI

Penelitian dilakukan di Kecamatan Sambirejo, Kabupaten Sragen, Jawa Tengah berlokasi 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 masing-masing sebanyak 3 buah profil dengan kedalaman 1,5 meter atau lapisan pembatas analisis.

Masing-masing profil diambil sampel tiap lapisan dengan menggunakan sekop atau belati tanah yakni lapisan diatas, tepat dan dibawah lapisan tapak bajak. Penentuan lapisan tapak bajak didasarkan pada nilai penetrasi tanah di lapangan dan karakteristik fisika tanah di laboratorium. Sampel tanah yang telah

dibersihkan dari sisa tanaman, akar, atau kerikil tersebut kemudian dikomposit. Sampel yang telah dikomposit selanjutnya 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 kandungan Fe dan Mn terlarut (metode Morgan-Wolf), serta ekstraksi dengan tiga pelarut selektif (DCB, Pirofosfat dan Oksalat) untuk unsur Fe, Mn dan Al.

Data yang akan diperoleh selanjutnya dianalisis menggunakan One-Way ANOVA pada level 5% dan DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) sebagai uji lanjut untuk menilai perbedaan yang signifikan diantara tanah sawah konvensional, semi-organik dan organik pada tiap lapisan tanah.

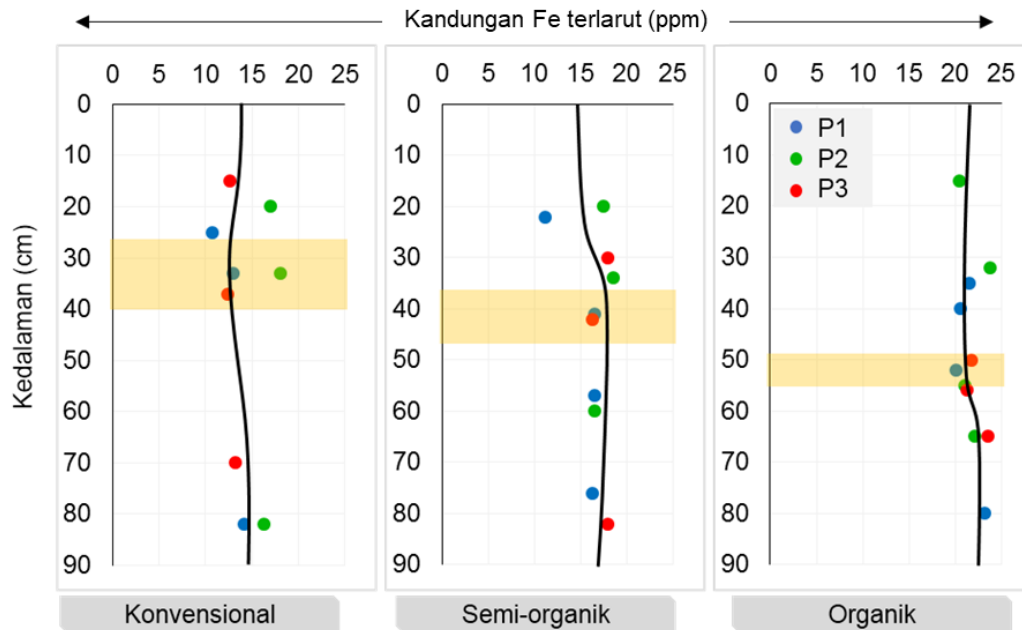
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan Fe dan Mn Terlarut

Kandungan Fe terlarut pada lokasi penelitian menunjukkan bahwa tanah konvensional memiliki kandungan Fe terlarut terendah diantara ketiga tanah

sawah dan berbeda nyata dengan kandungan Fe tanah sawah organik pada keseluruhan lapisan. Berdasarkan harkat Fe terlarut, kadar Fe pada tanah konvensional dan semi-organik berada pada harkat sedang-tinggi. Sementara pada tanah sawah organik menunjukkan kandungan lebih dari 20 ppm bahkan pada kedalaman 70 cm kandungan Fe terlarut mencapai 22.92 ppm. Sehingga pada tanah sawah organik pada seluruh lapisannya memiliki kandungan dengan harkat tinggi-sangat tinggi. Tingginya Fe ini dimungkinkan berasal dari mineral tanah, semisal hematite (Fe_2O_3), magnetit dan limonit.

Kandungan Fe yang tinggi pada lahan padi sawah akan mengakibatkan beberapa permasalahan. Pada kondisi tergenang, toksisitas Fe akan menjadi masalah karena pada suasana reduktif, semua Fe berada pada bentuk terlarut (Fe^{2+}) (Becker dan Asch, 2005; Marschner, 1995) disebabkan oleh potensial reduksi yang berada dibawah 200-300 mV (Coyne, 1999). Tingginya Fe^{2+} tanah ini akan menyebabkan keracunan tanaman padi, karena tanaman padi mengambil hara Fe dalam bentuk Fe^{2+} . Dalam kasus yang parah keracunan Fe akan menyebabkan penurunan produksi bahkan kegagalan panen (Audebert dan Sahrawat, 2000).



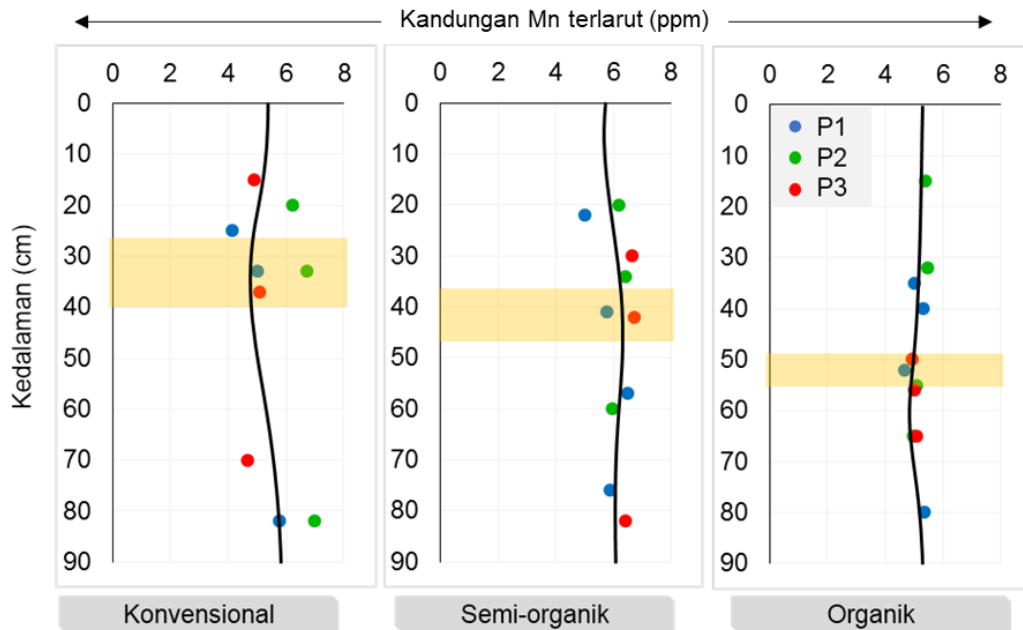
Gambar 1. Kandungan Fe terlarut pada tiga sistem budidaya padi berdasarkan kedalaman tanah

Di dalam tanah, keseimbangan Fe^{2+} dan Fe^{3+} sangat dipengaruhi oleh kemasaman tanah dan potensial redoks. Kemasaman tanah (pH) dan potensial redoks (Eh) akan menentukan Fe dalam kondisi oksidatif atau reduktif. Misalnya pada Eh 200-300 mV, terjadi proses oksidasi Fe^{2+} dan reduksi Fe^{3+} . Hal ini menyebabkan pada kondisi tersebut akan banyak ditemui bentuk Fe^{2+} . Namun apabila Eh naik lebih dari 300 mV, ketersediaan Fe^{3+} akan lebih banyak (Marschner, 1995; Coyne, 1999).

Tingkat ekspresi toksisitas besi pada tanaman padi berhubungan dengan sejumlah faktor tanah, antara lain kandungan dan jenis mineral lempung, jumlah Fe tertukar, kemasaman tanah dan faktor stress. Konsentrasi Fe^{2+} pada tanah lempungan jauh lebih rendah dibandingkan tanah berpasir (Becker

dan Asch, 2005). Kandungan lempung mempengaruhi dinamika Fe terutama melalui retensi Fe pada permukaan mineral lempung tanah. Hal ini menjelaskan mengapa pada daerah dengan kaolinit seperti pada lokasi penelitian gejala keracunan besi lebih sering muncul dibandingkan pada lokasi dominan mineral lempung smektit.

Kandungan Mn terlarut menunjukkan antara ketiga sistem budidaya tidak menunjukkan perbedaan signifikan baik pada lapisan atas maupun pada lapisan bawah. Satu-satunya perbedaan yang signifikan adalah pada lapisan tapak bajak, yakni tanah organik cenderung menunjukkan kandungan Mn yang lebih rendah. Tetapi secara umum kandungan total Mn tanah diantara ketiga tanah sawah rata-rata berkisar 4,9 - 6,3 ppm yang berharkat sedang-tinggi (Gambar 2).



Gambar 2. Kandungan Mn terlarut pada tiga sistem budidaya padi berdasarkan kedalaman tanah

Tabel 1. Kandungan Fe dan Mn terlarut tiap lapisan pada tiga sistem budidaya padi

		Konvensional	Semi-organik	Organik
Fe (ppm)	L1	13.45 ± 3.22 b	15.78 ± 3.1 b	21.63 ± 1.32 a
	L2	14.45 ± 3.13 b	17.12 ± 1.22 ab	20.81 ± 0.65 a
	L3	14.57 ± 1.59 c	16.91 ± 0.89 b	22.92 ± 0.74 a
Mn (ppm)	L1	5.08 ± 1.07 a	5.9 ± 0.7 a	5.22 ± 0.23 a
	L2	5.6 ± 0.98 ab	6.55 ± 0.16 a	4.92 ± 0.21 b
	L3	5.81 ± 1.17 a	6.08 ± 0.29 a	5.14 ± 0.19 a

Keterangan : L : Lapisan, L1 = lapisan atas, L2 = lapisan tapak bajak, L3 Lapisan bawah
Notasi yang sama di belakang nilai rerata ± SD pada baris yang sama menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata pada uji statistik ($P > 0,05$)

Kandungan Fe, Mn dan Al pada Lapisan Tapak Bajak

Unsur Fe merupakan salah satu dari tiga unsur logam selain Al dan Si yang terkandung dalam jumlah besar. Di dalam tanah umumnya Fe terdapat dalam senyawa oksida-hidroksida Fe, yaitu $\text{Fe}(\text{OH})_3$, maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), goetit ($\alpha\text{-FeOOH}$),

dan lepidokrosit ($\gamma\text{-FeOOH}$) (Sposito, 1994; Lindsay, 1979). Hematit dan Goetit merupakan dua senyawa Fe yang umumnya terkandung dalam tanah. Kedua senyawa ini cenderung terdapat sebagai amorf yang melapisi partikel tanah pada kondisi pelapukan lanjut (Bohn *et al.*, 2001). Hematit dan Goetit banyak terdapat dalam tanah yang

berkembang di daerah iklim sedang, subtropis dan tropis, sementara itu lepidokrosit hanya terdapat di daerah yang beriklim sedang dan tidak mengandung kapur (Brown *et al.*, 1978).

Penggunaan ekstraksi DCB, oksalat, dan pirofosfat pada pengukuran Fe, diwakili oleh notasi masing-masing Fe-d, Fe-o dan Fe-p. Pada lapisan tapak bajak, tanah sawah organik memiliki kandungan Fe baik Fe-d, Fe-p dan Fe-o tertinggi dibandingkan dengan tanah konvensional maupun semi-organik. Pada ekstrak DCB menunjukkan bahwa Fe dalam bentuk hidrous oksida lebih tinggi pada tanah sawah organik yakni sebesar 1,18 ppm sementara pada konvensional dan semi-organik masing-masing sebesar 0,16 ppm dan 0,09 ppm. Sementara itu pada ekstrak oksalat yang menunjukkan Fe dalam bentuk amorf, tanah sawah organik dan konvensional tidak terlalu jauh berbeda yakni masing-masing 7,79 ppm dan 6,48 ppm. Sementara itu tanah semi-organik memiliki sedikit Fe amorf yang sebesar 2,73 ppm.

Penambahan bahan organik terkait dengan ikatannya terhadap Fe menunjukkan perbedaan yang sangat besar khususnya pada tanah sawah organik. Penambahan bahan organik yang besar dan telah terdekomposisi, menyebabkan ekstrak Fe pirofosfat yang mewakili Fe terikat dengan bahan organik meningkat pada tanah sawah organik. Ikatan Fe dengan bahan organik tercatat pada tanah sawah organik sebesar 8,19 ppm, dengan rasio pirofosfat/total sebesar 0,393. Sementara pada tanah konvensional dan semi-organik jauh lebih kecil yakni masing-masing sebesar 1,73 ppm dan 1,51 ppm (Tabel 2). Hal ini menunjukkan bahwa bahan organik pada tanah organik di desa Sukorejo bermanfaat dalam mengikat Fe tanah, sehingga toksisitas Fe pada tanaman dapat dihindari. Selain itu pada tanah sawah organik tercatat sebesar 39,3% Fe yang berada dalam tanah terikat oleh bahan organik. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan tanah konvensional dan semi-organik yang masing-masing sebesar 12% dan 8,8%.

Tabel 2. Persentase kandungan unsur Al, Mn dan Fe dengan pelarut selektif pada lapisan tapak bajak

Perlakuan	Unsur	DCB	Pirofosfat	Oksalat	Total	Pirofosfat/Total	Fe-o/Fe-d
Konvensional	Al	nd	0,10	1,21	5,83	0,018	
	Mn	0,66	0,20	0,57	5,60	0,035	
	Fe	0,16	1,73	6,48	14,45	0,120	39,49
Semi-organik	Al	nd	nd	nd	4,18	0,000	
	Mn	0,21	0,14	0,47	6,55	0,021	
	Fe	0,09	1,51	2,73	17,12	0,088	29,99
Organik	Al	nd	0,10	nd	3,35	0,031	
	Mn	nd	0,54	0,31	4,92	0,109	
	Fe	1,18	8,19	7,79	20,81	0,393	6,58

Keterangan : nd : *not detected*

Jumlah serta sifat amorf dan kristal oksida anorganik dari Fe dan Al sangat mempengaruhi sifat fisik dan kimia tanah. Distribusi Fe dan Al pada tanah dapat digunakan untuk menentukan proses dan arah pembentukan tanah serta mengidentifikasi sejauh mana proses pedogenic telah berlangsung dan usia tanah tersebut (Juo *et al.*, 1974; Samndi, 2012). Menurut Juo *et al.* (1974) rasio ekstrak oksalat dengan ekstrak DCB (Fe-o/ Fe-d) disebut rasio Fe aktif. Rasio ini digunakan untuk menentukan tingkat bentuk penuaan atau kristal oksida besi bebas yang merupakan proses pedogenic utama. Nilai rata-rata Fe aktif di horison permukaan yang lebih rendah menunjukkan dominasi kristal Fe oksida. Transformasi Fe amorf ke Fe bentuk oksida menunjukkan stadium lanjut dari pelapukan tanah. Rasio Fe aktif umumnya menurun tidak teratur sesuai dengan kedalaman profil, hal ini mengindikasikan tingkat pelapukan yang lebih tinggi pada lapisan tanah.

Pada lokasi penelitian nisbah Fe-o/Fe-d pada tanah konvensional dan semi-organik bernilai cukup tinggi yakni masing-masing 39,49 dan 29,99. Sementara itu tanah sawah organik di desa Sukorejo memiliki nilai yang jauh lebih rendah, yakni sebesar 6,58. Hal ini menunjukkan bahwa tanah di desa Sukorejo termasuk tanah tua atau telah mengalami perkembangan lanjut.

Karena tanah mengalami pelapukan, sementara kelarutan silika lebih tinggi dibandingkan dengan aluminium, maka sebagian besar Al akan tertinggal di dalam tanah

membentuk Al oksida dan hidroksida. Disamping itu pada tanah-tanah masam, Al berada dalam bentuk ion yang dapat dipertukarkan, yakni Al yang teradsorpsi pada muatan negatif mineral lempung dan oksida hidrous Fe, Al dan Mn (Lindsay, 1979).

Meskipun secara total kandungan Mn tidak menunjukkan perbedaan, namun pada lapisan tapak bajak berdasarkan analisis tiga pelarut selektif menunjukkan perbedaan yang cukup besar. Pada ekstraksi DCB menunjukkan bahwa Mn dalam bentuk hidrous oksida terdapat pada lapisan tapak bajak lahan konvensional dan semi-organik, masing-masing sebesar 0,66 dan 0,21 ppm. Sementara pada lahan organik, kandungan Mn dalam bentuk hidrous oksida sangat kecil sehingga tidak terdeteksi. Sementara itu pada bentuk Mn amorf, ketiga perlakuan tidak menunjukkan perbedaan yakni masing-masing sebesar 0,57; 0,47 dan 0,31 ppm untuk tanah konvensional, semi-organik dan organik.

Perbedaan yang besar tampak pada Mn yang terikat dengan bahan organik, yakni pada tanah sawah organik tercatat kandungan Mn sebesar 0,54 ppm. Nilai ini merupakan nilai yang tertinggi dibandingkan dengan tanah konvensional dan semi-organik yang masing-masing sebesar 0,20 dan 0,14 ppm (Tabel 2). Sehingga dalam analisis Fe-p dan Mn-p menunjukkan pengaruh bahan organik yang ditambahkan pada tanah sawah organik dalam mengikat Fe dan Mn jauh lebih tinggi dibandingkan tanah konvensional dan semi-organik. Pengaruh bahan

organik ini meliputi jumlah pemberian bahan organik, kualitas dekomposisi, jenis bahan organik, lama aplikasi bahan organik.

KESIMPULAN

Secara keseluruhan, analisis sifat kimia menunjukkan adanya akumulasi Fe dan Mn pada lapisan tapak bajak yang meningkat masing-masing sebesar 4,28% dan 5,78%. Sementara itu penambahan bahan organik dalam jumlah relatif besar memacu perubahan sifat kimia. Hal ini terlihat dari jumlah Fe dan Mn yang terikat oleh bahan organik yang meningkat pada tanah sawah organik dibandingkan dengan tanah sawah konvensional maupun semi-organik. Baik Fe maupun Mn yang terikat oleh bahan organik tercatat meningkat masing-masing sebesar 4,74 kali dan 2,73 kali pada tanah organik dibandingkan tanah konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

- Armstrong, W. 1979. Aeration in higher plants. Dalam: *Advances in Botanical Research*, Volume 7. Editor: H.W. Woolhouse. Academic Press. New York.
- Audebert, A. and K.L. Sahrawat. 2000. Mechanisms for iron toxicity tolerance in lowland rice. *Journal of Plant Nutrition*. 23 (11 - 12) : 1877 - 1885.
- Becker, M. and F. Asch. 2005. Iron toxicity in rice - conditions and management concepts. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 168 : 558 – 573.
- Bohn, H.L., B.L. McNeal, and G. O'Connor. 2001. *Soil Chemistry*. Third Edition. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Brown, G., A.C.D. Newman, J.H. Rayner, and A.H. Weir. 1978. *The Structure and Chemistry of Soil Clay Mineral*. Dalam : *The Chemistry of Soil Constituents*. Editor : D.J. Greenland and M.H.B. Hayes. John Wiley and Sons. London.
- Conklin, A.R. 2005. *Introduction to Soil Chemistry: Analysis and Instrumentation*. John Wiley and Sons Inc. New Jersey.
- Coyne, M. 1999. *Soil Microbiology : An exploratory approach*. Delmar Publisher. New York.
- Grybos, M., M. Davranche, G. Gruau, P. Petitjean, and M. Pédrot. 2009. Increasing pH drives organic matter solubilization from wetland soils under reducing conditions. *Geoderma*. 154: 13 - 19.
- Hardjowigeno, S. dan M.L. Rayes. 2005. *Tanah Sawah : Karakteristik, Kondisi, dan Permasalahan Tanah Sawah di Indonesia*. Bayumedia. Malang.
- Juo, A.S.R., F.R. Moormann, and H.O. Maduakor. 1974. Forms and pedogenetic distribution of extractable iron and aluminum in selected soils of nigeria. *Geoderma*, 11(3) : 167—179.
- Kautsar, Valensi. 2017. Pengaruh budidaya padi organik terhadap kompaksi dan transformasi lapisan tapak bajak. *Jurnal Agroteknose*. VIII (II) : 45-56.
- 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 Pasific Press. Melbourne.

- Lindsay, W.L. 1979. Chemical Equilibrium in Soils, John Wiley and Sons. New York.
- 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.
- Moormann, F.R. dan N. van Breemen. 1978. Rice: Soil, Water, Land. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.
- Sander, T., Horst H. Gerke, dan H. Rogasik. 2008. Assessment of Chinese paddy-soil structure using X-ray computed tomography. *Geoderma*. 145: 303 - 314.
- Ponnamperuma, F.N. 1985. Chemical Kinetics of Wetland Rice Soils Relative to Soil Fertility. Dalam: *Wetland Soils - Characterization, classification, and utilization (Proceedings)*. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines.
- Prakongkep, N., A. Suddhiprakarn, I. Kheoruenromne, and R.J. Gilkes. 2007. Micromorphological Properties of Thai Paddy Soils. *Kasetsart Journal (Natural Science)*. 41: 42 - 48.
- Prasanna, R., L. Nain, A.K. Pandey, and S. Nayak. 2010. Exploring the Ecological Significance of Microbial Diversity and Networking in the Rice Ecosystem. Dalam: *Soil Biology and Agriculture in the Tropics*. Editor: Patrice Dion. Springer. Berlin.
- Reddy, K.R. and R.D. DeLaune. 2008. *Biogeochemistry of Wetlands: Science and Applications*. CRC Press. Boca Raton, Florida.
- Samndi, A.M. 2012. Vegetation effect on pedogenetic forms of iron and aluminium and mineralogical properties of basaltic soils in the southern guinea savanna of Nigeria. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*. 5 (1) : 139 – 148.
- Soepraptohardjo, M. and H. Suhardjo. 1978. Rice Soils of Indonesia. Dalam : *Soils and Rice*. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines.
- Sposito, G. 1994. *Chemical Equilibria and Kinetics in Soils*. Oxford University Press. New York.
- Watanabe, I. 1984. Anaerobic Decomposition of Organic Matter in Flooded Rice Soils. Dalam : *Organic Matter and Rice (Proceedings)*. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines.
- 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.
- Yoshida, S. 1981. *Fundamentals of Rice Crop Science*. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines.