

STRATEGI EFISIENSI PENGGUNAAN BAHAN ORGANIK UNTUK KESUBURAN DAN PRODUKTIVITAS TANAH MELALUI PEMBERDAYAAN SUMBERDAYA HAYATI TANAH

*Efficiency Strategy of Organic Matter Use for Soil Fertility and Productivity
by Soil Biology Resources Empowerment*

Subowo G.

*Balai Penelitian Tanah
Jl. Ir. H. Juanda 98, Bogor 16123*

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara kepulauan di kawasan vulkanik tropika basah memiliki keanekaragaman hayati tanah, laju pelapukan dan erosi tanah tinggi, namun memiliki kesuburan dan kandungan bahan organik tanah yang rendah. Perbaikan kesuburan tanah untuk tanaman secara langsung dengan pemberian bahan organik memerlukan jumlah yang besar dan mahal. Masalah yang dihadapi kemampuan produksi bahan organik rendah, laju pelapukan tinggi, diperlukan dalam jumlah besar dan berada di wilayah kepulauan, sehingga sulit dalam pengadaan dan konservasi bahan organik di dalam tanah serta biaya transportasi mahal. Pemberian bahan organik dengan tujuan untuk pemberdayaan sumberdaya hayati tanah untuk meningkatkan kesuburan tanah potensial diupayakan. Selain memerlukan dosis pemberian bahan organik yang relatif lebih rendah juga dapat mencegah munculnya serangan hama penyakit tular tanah dan meningkatkan konservasi bahan organik tanah. Dalam menentukan evaluasi kesesuaian lahan di kawasan vulkanik tropika basah hendaknya perlu mempertimbangkan adanya peranan populasi organisme tanah untuk mendukung produksi tanaman dan menjaga kelestarian kandungan bahan organik tanah.

Kata kunci : Kesuburan dan produktivitas tanah, keaneka-ragaman hayati, bahan organik, pemberdayaan hayati tanah

ABSTRACT

Indonesia is an archipelago in wet tropical volcanic regions have high soil biodiversity, high rate of weathering and high of soil erosion, but low on soil fertility and soil organic matter content. Improvement of soil fertility to plant directly with the provision of organic materials requires a large amount and expensive. Problems faced by low organic matter production ability, high decomposition rate, bulky and is in the archipelago, making it difficult in the procurement and conservation of organic matter in soil and expensive transportation costs. Provision of organic materials with the aim of empowering the soil biology resources to enhance soil fertility potential pursued. In addition to the dose of organic matters required is relatively lower may also prevent the emergence of soil born diseases are also increasing of soil organic matter conservation. In determining land suitability evaluation in wet tropical volcanic region should consider the role of soil organism populations to support crop production and protected soil organic matter content.

Keywords : Soil fertility and productivity, biodiversity, organic matter, empowering soil biology

Kawasan tropika basah yang berada antara 23°30' Lintang Utara dan 23°30' Lintang Selatan memiliki pasokan sinar matahari dan curah hujan yang besar sepanjang tahun. Laju pelapukan mineral ataupun bahan organik (BO), erosi tanah, dan pencucian hara berlangsung intensif serta memiliki laju fotosintesis dan fotorespirasi yang tinggi. Sebagian besar tanah lahan kering memiliki kesuburan tanah dan kandungan bahan organik rendah. Fotorespirasi yang tinggi mengakibatkan produk biomassa (bahan organik) yang dihasilkan yang merupakan selisih antara hasil fotosintesis terhadap fotorespirasi per individu

tanaman/hewan relatif rendah/kecil. Pengadaan biomassa sebagai sumber bahan organik tanah secara insitu sangat terbatas. Dukungan kesuburan tanah untuk pertumbuhan tanaman semusim dengan intensitas panen tinggi menjadi rendah. Sedang tanaman tahunan berakar dalam dan permanen memiliki penyanggaan relatif lebih baik. Untuk mendukung produksi pangan yang merupakan kebutuhan pokok dengan berbasis pada tanaman semusim banyak menghadapi hambatan. Tanpa pengkayaan bahan organik yang memiliki kandungan hara lengkap, kesuburan dan produktivitas tanah sulit ditingkatkan. Masalah yang dihadapi jumlah

bahan organik yang harus diberikan cukup besar, karena kandungan hara pada bahan organik relatif rendah dan laju pelapukan cepat serta mudah tercuci.

Indonesia merupakan salah satu wilayah yang berada di tropika basah. Selain memiliki laju pelapukan, erosi, dan pencucian hara tinggi juga memiliki laju pengkayaan mineral dan keanekaragaman jenis organisme (*megabiodiversity*) yang tinggi. Secara potensial kandungan mineral/hara dalam tanah pada prinsipnya telah ada, namun tingkat ketersediaannya sangat beragam dan tergantung pada kondisi lahan dan kemampuan tanaman melakukan serapan. Dengan mempertimbangkan dukungan sumberdaya seperti ini Indonesia memiliki peluang yang baik untuk pengembangan pertanian dengan berbasis pada pemanfaatan sumberdaya tanah/lahan. Dalam batas tertentu laju pelapukan tinggi potensial dimanfaatkan untuk mempercepat pelapukan mineral-mineral primer, sehingga hara yang terkandung di dalamnya dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan produksi dan kualitas produk pertanian. Pengkayaan hara/bahan organik di dalam tanah dapat meningkatkan aktivitas organisme tanah yang pada tahap selanjutnya akan memperbaiki dan mempertahankan kesuburan tanah.

Beberapa organisme tanah mampu meningkatkan kesuburan tanah melalui hasil samping yang dihasilkan, seperti organisme pelarut fosfat ataupun penambat N-bebas yang hidup bebas/*soliter* ataupun yang hidup bersimbiose secara mutualistik dengan tanaman. Benang-benang miselium/hifa dari jamur benang (fungi) juga dapat mengikat agregat-agregat tanah untuk saling berikatan, sehingga tidak mudah rusak dan tahan terhadap tekanan fisik/erosi. Fauna tanah yang hidup di dalam tanah dengan menggali lubang dan mencampur tanah dapat memperbaiki aerasi dan kesuburan tanah. Sebaliknya juga terdapat organisme tanah yang merugikan tanaman, seperti organisme hama ataupun penyakit tanaman. Untuk itu selektivitas dalam pemberdayaan organisme tanah sesuai dengan yang diharapkan perlu diperhatikan, agar nilai manfaat dari aktivitas organisme target

tersebut dapat membantu memperbaiki produktivitas tanah.

Tujuan dari penulisan ini diharapkan dapat memberikan wawasan tentang pentingnya efisiensi penggunaan bahan organik di kawasan *megabiodiversity* tropika basah yang tidak hanya sebagai sumber hara, namun juga berperan penting dalam mendukung perbaikan aktivitas organisme tanah. Meningkatnya aktivitas organisme tanah yang mampu mencegah laju penyusutan bahan organik, memperbaiki aerasi dan agregat tanah, meningkatkan ketersediaan hara, dan mencegah berkembangnya hama-penyakit tular tanah akan meningkatkan kesuburan dan produktivitas tanah. Melalui pendekatan ini diharapkan dapat mengurangi jumlah atau dosis pemberian bahan organik tanah untuk meningkatkan produksi tanaman.

Kandungan bahan organik dan kesuburan tanah di Indonesia

Indonesia merupakan salah satu negara di kawasan tropika basah yang memiliki tanah mineral bermasalah dalam kaitannya dengan tingginya laju dekomposisi bahan organik dan pencucian hara. Bahan organik tanah umumnya rendah (<2%) dan pH tanah masam. Las dan Setyorini (2010) menyatakan bahwa sekitar 73% lahan pertanian di Indonesia \pm 73% memiliki kandungan C-organik tanah <2,00%. Sanchez (1976) mengatakan bahwa rendahnya kandungan bahan organik tanah tropika disebabkan oleh temperatur yang tinggi dan cepatnya laju dekomposisi.

Sudriatna dan Subowo (2007) juga mendapatkan bahwa pengaruh residu bahan organik yang diberikan sebanyak 5 t/ha pada tanaman tomat selama empat bulan di Bogor sudah tidak berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan kacang hijau yang ditanam pada musim berikutnya. Bahkan Kariada dan Aribawa (2009) mendapatkan bahwa pemberian pupuk organik tidak berpengaruh nyata terhadap hasil gabah kering panen. Kasno *et al.* (2009) juga mendapatkan bahwa pemberian pupuk kandang sebanyak 10 t/ha tidak meningkatkan produksi

padi sawah, namun neraca hara P dan K menjadi positif. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penambahan hara P dan K dalam tanah namun belum mempengaruhi produksi padi. Efisiensi penggunaan bahan organik sebagai pupuk untuk meningkatkan kesuburan dan produktivitas tanah perlu diupayakan dengan tetap memperhatikan nilai fungsi bahan organik yang tidak hanya sebagai fungsi fisiko-kimia tetapi juga fungsi hayati sebagai sumber hara dan energi bagi organisme tanah.

Sebagai fungsi keharaan, pelepasan hara/mineral diawali dengan adanya mineralisasi oleh pelapukan/perombakan melalui proses fisiko-kimia ataupun biologi dengan dihasilkan unsur-unsur pembentuknya dalam bentuk ion (kation/anion). Swift *et al.* (1979) menyatakan dekomposisi bahan organik merupakan proses pemecahan integratif kompleks di antara organisme (makro dan mikro organisme), faktor lingkungan (utamanya temperatur dan kelembaban) dan jenis bahan organik. Kandungan hara makro pada beberapa sumber bahan organik tanah sebagian besar <1,0% (Tabel 1). Hasil dekomposisi dihasilkan bahan mudah larut dan sisa padatan serta jaringan organisme hidup. Melalui proses pertukaran aktif maupun pasif, bahan mudah larut yang ada dalam tanah terserap ke jaringan tanaman melalui proses pertukaran ion dan selanjutnya dimobilisasi dalam metabolisme tanaman. Dari Tabel 1 menunjukkan bahwa untuk memenuhi kebutuhan hara tanaman padi sawah sebanyak 100 kg

N/ha/musim diperlukan pupuk kotoran unggas ± 67 t/ha/musim atau 151 t/ha/musim jerami padi.

Hasil penelitian Sutono *et al.* (2009) dengan memberikan bahan organik dari pupuk kandang didapatkan bahwa hubungan antara bahan organik tanah dengan produksi jagung pada tanah terdegradasi berat dengan C-organik 0,68% didapatkan persamaan regresi :

$$Y (\text{produksi jagung}) = -1,0856x^2 + 6,2855x + 2,1079$$

$$R^2 = 0,9011$$

Dari nilai persamaan kwadratik ini menunjukkan bahwa puncak produksi jagung dicapai pada kandungan 2,9% C-organik tanah dengan puncak produksi 11,21 t/ha. Sedang untuk kandungan C-organik 1% dicapai produksi 7,31 t/ha. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan produksi jagung dari C-organik 1,0% menjadi 2,9% terjadi peningkatan produksi ± 3,90 t/ha atau dengan pemberian bahan organik sebanyak ± 65,36 t/ha dapat memberikan hasil jagung 3,90 t/ha. Sementara pengadaan pupuk kandang tersebut juga membutuhkan hijauan pakan yang besarnya ± 2 kali lipat (± 130,72 ton hijauan). Sementara potensi kemampuan produksi hasil samping/limbah bahan organik dari tanaman semusim relatif rendah <10 t/ha. Bahkan apabila mempertimbangkan nilai laju perkembangan/penyusutan alami bahan organik tanah pertanian kawasan tropika basah (*internal rate natural of increase*) yang bernilai <1, akan memerlukan tambahan bahan organik tanah yang lebih besar

Tabel 1. Kandungan hara makro beberapa sumber bahan organik tanah

No.	Jenis bahan organik	Kandungan hara makro			
		N	P	K	Ca
..... %					
1.	Jerami padi	0,66	0,07	0,93	0,29
2.	Sekam	0,49	0,05	0,49	0,06
3.	Batang jagung	0,81	0,15	1,42	0,24
4.	Serbuk kayu	1,33	0,07	0,60	1,44
5.	Kotoran sapi perah	0,53	0,35	0,41	0,28
6.	Kotoran sapi daging	0,65	0,15	0,30	0,12
7.	Kotoran unggas	1,50	0,77	0,89	0,30
8.	Kotoran domba	1,28	0,19	0,93	0,59

Sumber : Las dan Setyorini (2010)

untuk kebutuhan pertanaman berikutnya. Sholeh *et al.* (1997) mendapatkan bahwa pemberian bahan organik sebanyak 10 t/ha pada tanah Ultisols Lampung mampu meningkatkan produksi padi gogo, namun residu bahan organik yang diberikan tidak berpengaruh nyata terhadap produksi ketela pohon yang ditanam pada musim berikutnya (Tabel 2). Pada Tabel 2 menunjukkan bahwa untuk musim tanam pertama (MT I) pemberian bahan organik tanpa penambahan pupuk N (Urea) memberikan produksi gabah padi gogo lebih rendah dibanding dengan yang mendapat tambahan Urea. Sedangkan pada musim taman kedua (MT II) residu pemberian bahan rorganik tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap produksi ketela pohon. Kondisi ini menunjukkan bahwa pemberian bahan organik tanah dengan orientasi semata-mata untuk mendukung produksi tanaman secara langsung sangat kurang efisien. Untuk itu pemberian bahan organik tanah untuk tanaman semusim di kawasan vulkanik tropika basah perlu ditingkatkan nilai efektivitasnya melalui pemberdayaan potensi sumberdaya hayati tanah.

Peranan bahan organik terhadap aktivitas organisme tanah

Masalah yang penting dalam usahatani di kawasan tropika basah adalah rendahnya kandungan hara tanah, ketersediaan bahan organik tanah, dan kemampuan tanah menahan air (William and Joseph, 1976). Pemberian bahan organik ke dalam tanah akan membantu mengurangi erosi, mempertahankan kelembaban tanah, mengendalikan pH tanah, memperbaiki drainase, mencegah pengerasan dan retakan, meningkatkan kapasitas pertukaran ion, dan meningkatkan aktivitas biologi tanah (Vidyarthi and Misra, 1982). Semua peran tersebut dapat berlangsung setelah bahan organik mengalami perombakan oleh aktivitas organisme tanah. Tanpa adanya aktivitas organisme tanah bahan organik tersebut akan tetap utuh (tidak terurai) di dalam tanah dan dapat mengganggu sistem produksi tanaman seperti halnya yang banyak terjadi di kawasan subtropika. Lal (1995) menyatakan penurunan jumlah dan kualitas bahan organik serta aktivitas biologi maupun

Tabel 2. Rata-rata produksi padi gogo (MT I) dan ketela pohon (MT II) pada penelitian pengaruh pemberian beberapa bahan organik pada tanah Ultisols Lampung

Perlakuan **	Produksi*							
	Padi gogo (MT I)				Ketela pohon (MT II)			
Petak utama: BO (10 t/ha) Anak petak : urea (kg/ha)	0	50	100	200	0	50	100	200
 t/ha							
Tanpa BO (kontrol)	46,6 b B	52,1 b A	55,5 a A	53,3 ab A	29,4 a A	31,2 a A	34,0 a A	37,3 a A
BO kotoran sapi	57,0 a A	59,8 a A	57,5 a A	58,6 a A	31,5 a A	34,3 a A	31,5 a A	35,2 a A
BO sisa tanaman	51,0 ab A	51,6 b A	52,4 a A	51,7 a A	32,2 a A	36,0 a A	37,6 a A	35,4 a A
BO <i>Flemingia congesta</i>	49,8 ab A	51,9 b A	54,6 a A	53,9 a A	30,4 a A	34,2 a A	36,9 a A	37,8 a A
Rata-rata produksi	51,1	53,9	55,0	54,4	30,9	33,9	35,0	36,4

Sumber : Sholeh *et al.* (1997)

Keterangan :

- * Angka yang diikuti dengan huruf yang sama dari masing-masing musim tanam tidak berbeda nyata sampai taraf nyata 5%, huruf kecil antar kolom (petak utama) dan huruf besar antar baris (anak petak).
- ** Perlakuan pemberian bahan organik (petak utama) dan N (urea) (anak petak) hanya diberikan pada MT I, kecuali pemberian BO sisa tanaman diberikan hanya pada MT II dengan menggunakan jerami hasil panen MT I. Pupuk dasar diberikan setiap musim tanam dengan dosis 200 kg TSP/ha dan 100 kg KCl/ha.

keanekaragaman spesies fauna tanah merupakan bentuk degradasi tanah yang penting untuk tanah tropika basah. Sebagai wilayah *megabiodiversity* Indonesia layak memberdayakan potensi sumberdaya hayati tanah tersebut untuk memberikan sumbangan yang besar dalam upaya meningkatkan kesuburan dan produktivitas tanah.

Dalam evaluasi kesesuaian lahan yang selama ini dianut di Indonesia juga disusun berdasarkan beberapa parameter kesuburan tanah dan lahan dengan berbasis sifat fisiko-kimia tanah yang berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan tanaman. Kriteria parameter kesesuaian lahan yang digunakan antara lain: ketinggian tempat, kelerengan, zona

agroklimat, drainase, potensi banjir, kedalaman efektif, toksisitas, dan kesuburan tanah. Sedangkan aspek potensi biologi tanah yang tidak berpengaruh langsung terhadap pertumbuhan tanaman belum dipertimbangkan dalam kriteria kesuburan tanah (Tabel 3).

Hal ini terjadi karena kriteria tersebut sebagian besar didasarkan pada kondisi yang ada di kawasan subtropika yang memiliki kandungan C-organik tanah tinggi. Akibatnya kriteria kandungan bahan organik (C-organik) tanah yang mampu memberikan produksi tanaman secara nyata memiliki kandungan rendah pada tingkat >2,0% dan tinggi pada >3,0%. Sementara tanah-tanah pertanian di Indonesia >70% berada pada kandungan <2%

Tabel 3. Kriteria kesuburan tanah mineral

Sifat tanah	Rendah	Sedang	Tinggi
I. Sifat fisika :			
1. Pori aerasi (%)	5 – 10	11 – 15	> 15
2. Pori pemegang air tersedia (%)	5 – 10	11 – 15	16 – 20
3. Permeabilitas (cm/jam)	<2,00	2,02 – 6,35	6,36 – 12,70
4. Erodibilitas	<0,200	0,21 – 0,32	>0,33
II. Sifat kimia :			
5. C (%)	1,0 – 2,0	2,01 – 3,00	3,01 – 5,00
6. N (%)	0,1 – 0,2	0,21 – 0,50	0,51 – 0,75
7. C/N	5 – 10	11 – 15	16 – 25
8. P ₂ O ₅ HCl 25% (mg/100g)	15 – 20	21 – 40	41 – 60
P ₂ O ₅ Bray (ppm P)	5 – 7	8 – 10	11 – 15
P ₂ O ₅ Olsen (ppm P)	5 – 10	11 – 15	16 – 20
9. K ₂ O ₅ HCl 25% (mg/100g)	10 – 20	21 – 40	41 – 60
10. KTK(CEC) (me/100g tanah)	5 – 6	17 – 24	25 – 40
11. Susunan kation :			
K (me/100g)	0,1 – 0,3	0,40 – 0,50	0,60 – 1,00
Na (me/100g)	0,1 – 0,3	0,40 – 0,70	0,80 – 1,00
Mg (me/100g)	0,4 – 1,0	1,10 – 2,00	2,10 – 8,00
Ca (me/100g)	2 – 5	6 – 10	11 – 20
12. Kejenuhan basa (%)	20 – 40	41 – 60	61 – 80
13. Kejenuhan alumunium (%)	5 – 10	11 – 20	20 – 40
14. Cadangan mineral (%)	5 – 10	11 – 20	20 – 40
15. Salinitas DHL ECEx10 ³ (mmhos/cm)	1 – 2	2 – 3	3 – 4
16. Persentase natrium dapat tukar (ESP)	2 – 5	5 – 10	10 – 15
17. Kemasaman	Masam	Agak masam	Agak alkalis
18. pH (H ₂ O)	4,5 – 5,5	5,6 – 6,5	7,6 – 8,5

Sumber : Pusat Penelitian Tanah (1983)

Catatan : Penilaian ini hanya didasarkan pada sifat umum tanah secara empiris dan belum dihubungkan dengan kebutuhan tanaman.

dan bahkan banyak yang <1,0%. Untuk itu pengaruh pemberian bahan organik tanah di Indonesia yang kaya sumberdaya hayati tanah perlu mempertimbangkan peranan organisme tanah yang selain mampu memperbaiki kesuburan tanah juga memperpanjang daur energi/hara di dalam tanah melalui hierarki rantai makanan (*food web*) yang pada gilirannya akan menghambat pelepasan karbon (emisi karbon) ke udara. Kriteria populasi biologi tanah, utamanya organisme yang memiliki andil dalam perbaikan kesuburan tanah di kawasan vulkan tropika basah hendaknya juga dipertimbangkan dalam menentukan tingkat kesuburan dan kesesuaian lahan untuk mendukung produksi tanaman.

Beberapa peranan organisme tanah dalam meningkatkan kesuburan dan produktivitas tanah antara lain adalah :

Perbaikan sifat fisik tanah

Masalah kesuburan tanah di kawasan tropika basah yang sementara ini sulit diatasi dengan upaya pengelolaan lahan, baik melalui pengolahan tanah ataupun pemupukan adalah perbaikan sifat fisik tanah. Kerusakan sifat fisik tanah ini terjadi akibat tingginya laju pelapukan bahan organik, erosi dan iluviasi/eluviasi liat serta sistem pengolahan tanah yang kurang tepat. Tanah lapisan atas memiliki kandungan bahan organik rendah dan terdapat akumulasi liat di lapisan bawah. Tanah didominasi oleh Ultisols, Inseptisols, dan Oxisols. Untuk memperbaiki kondisi fisik tanah ini dapat diupayakan dengan perbaikan stabilitas agregat tanah, perbaikan aerasi tanah di lapisan yang memadat dan pencampuran kembali tanah lapisan bawah dengan lapisan atas. Erfandi *et al.* (2004) mendapatkan bahwa pemberian bahan organik pada tanah Ultisols dapat memperbaiki berat isi, pori aerasi, air tersedia, dan stabilitas agregat tanah lapisan 0 – 20 cm. Lebih dari 50% pembentukan agregat tanah di Eropa dilakukan oleh cacing tanah, sehingga dapat meningkatkan ruang pori, meningkatkan kapasitas tanah menahan air dan laju infiltrasi (Strook and Eggleton, 1992). Keadaan ini menunjukkan bahwa perbaikan ini hanya dapat

berlangsung apabila ada dukungan dari aktivitas populasi organisme tanah. Dengan perbaikan ini, maka tanah lapisan atas akan lebih tahan terhadap erosi dan juga dapat meningkatkan potensi menyangga kapasitas pertukaran ion.

Adanya lubang-lubang cacing tanah ataupun dari fauna tanah lainnya dapat meningkatkan laju infiltrasi dan perkolasi air, sehingga dapat mengurangi aliran permukaan dan erosi tanah. Subowo *et al.* (2002) mendapatkan bahwa populasi cacing tanah geofagus *Pheretima hupiensis* pada tanah Ultisols berkorelasi nyata dan negatif dengan ketahanan tanah serta berkorelasi positif dengan kadar air tanah. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan cacing tanah mampu menurunkan kepadatan tanah dan meningkatkan potensi ketersediaan air bagi tanaman. Cacing tanah geofagus dengan kemampuannya mencerna tanah dan melepaskan kembali dalam bentuk kascing yang memiliki stabilitas agregat tinggi, selain dapat memperbaiki aerasi tanah (melalui lubang-lubang yang dihasilkan) juga dapat mengembalikan kandungan liat yang tereluviasi dari lapisan bawah ke lapisan atas. Kascing merupakan makroagregat yang stabil dan dapat bertahan lebih dari 1 tahun (Blanchart *et al.* 1991 *dalam* Martin, 1991). Demikian juga dengan aktivitas pencernaannya yang mampu mencampur bahan organik dan mineral tanah, cacing tanah dapat mencegah kehilangan bahan organik melalui erosi dan pencucian. Terbentuknya lubang-lubang pada lapisan argilik juga akan memperbaiki aerasi tanah dan juga memberi peluang akar tanaman untuk mampu menembus lapisan argilik, memperluas daerah jelajah akar dan mempertahankan tegaknya tanaman. Benang-benang hifa dari jamur benang (*fungi*) juga dapat memperkuat ikatan antar partikel tanah, sehingga dapat tahan terhadap gerusan erosi ataupun tekanan fisik lainnya.

Peningkatan ketersediaan hara tanah

Tanaman merupakan organisme autotrof yang dalam pertumbuhannya memerlukan hara dalam bentuk anorganik (ion). Pelepasan hara

tanaman yang berasal dari bahan induk tanah ataupun dari bahan organik diawali oleh proses demineralisasi. Proses demineralisasi ini berlangsung secara fisiko-kimia ataupun oleh aktivitas biologis yang dalam kenyataan di lapangan kedua proses ini selalu berlangsung bersama-sama saling melengkapi satu dengan yang lain. Tanpa adanya peran organisme tanah mineralisasi/dekomposisi mineral ataupun bahan organik tanah berlangsung lambat. Adanya aktivitas dekomposisi bahan organik, hara-hara yang terkandung di dalamnya dilepaskan dalam bentuk tersedia bagi tanaman, baik hara makro maupun mikro. Selama dekomposisi bahan organik unsur hara Na, Ca, Mg, dan K terus dilepaskan sebagai kation-bebas, tetapi Fe dan Al banyak dalam ikatan, dan N banyak diasimilasi dalam sel mikroba (Coleman and Crossley, 1995). Edwards dan Lofty (1977) juga menyatakan bahwa bahan tanah mineral maupun bahan organik yang dicerna cacing tanah dikembalikan ke dalam tanah dalam bentuk kotoran dan hara yang lebih tersedia bagi tanaman. Diperkirakan cacing tanah mempunyai andil pengkayaan N tanah sebesar 3,41 – 4,1 g/tahun melalui sekresi, lendir, dan kotorannya/kascing (Curry *et al.*, 1995).

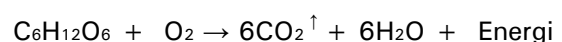
Selain itu beberapa organisme tanah mampu memanfaatkan hara dari udara seperti N₂-bebas yang hidup bebas ataupun bersimbiose dengan tanaman dan selanjutnya dapat tersedia bagi tanaman. Organisme tanah yang mampu menambat N₂-udara melalui simbiosis dengan tanaman adalah bakteri *Rhizobium* bersimbiose dengan tanaman kacang-kacangan (legume). Sedang yang hidup bersimbiose dengan *Azolla* adalah dari kelompok blue green algae (BGA), seperti *Anabaena*, *Nostoc*, *Oscillatoria*, dan lain-lain. Organisme penambat N₂-udara yang hidup bebas (soliter) antara lain dari kelompok BGA yang hidup di lahan basah dan *Azotobacter* (bacteria). Juga terdapat fungi *Mikorisa* yang dapat hidup di dalam akar tanaman hidup (endotropik) ataupun hidup bebas di tanah (ektotropik) dapat meningkatkan serapan dan ketersediaan P untuk tanaman serta melindungi akar dari serangan patogen (Alexander, 1977).

Keberadaan organisme tanah ini mampu memperkaya hara tanah untuk meningkatkan kesuburan dan produktivitas tanah.

Pemberian pupuk organik (20 t/ha) dan pupuk buatan/anorganik serta kombinasinya pada tanah lahan kering masam di Tamanbogo (Lampung) tidak berpengaruh nyata terhadap sifat kimia tanah termasuk C-organik tanah (Yusnaini *et al.*, 2004). Namun berpengaruh nyata terhadap populasi cacing tanah dengan populasi tertinggi pada perlakuan pemberian kotoran ayam. Populasi Mikoriza Vesikular Arboskular (MVA) dapat dijumpai pada seluruh perlakuan, dan terdapat beda nyata dengan produksi jagung. Produksi jagung tertinggi pada perlakuan kotoran ayam 50% + pupuk NPK 50%. Keadaan ini menunjukkan bahwa pengaruh pemberian bahan organik ataupun pupuk buatan terhadap produksi tanaman tidak semata-mata disebabkan oleh perbaikan sifat kimia ataupun kandungan C-organik tanah, tapi juga dipengaruhi perkembangan populasi biologi tanah (cacing tanah dan VMA).

Konservasi C-organik tanah dan menekan emisi CO₂

Belakangan ini isue pemanasan global telah banyak mendapatkan perhatian serius dari beberapa kalangan. Sebagai penyebab terjadinya pemanasan global adalah akibat terbukanya lapisan pelindung ozon sebagai akibat tingginya emisi gas CF, CO₂, CH₄, NO_x, SO_x, dan lain-lain. Pembukaan lahan untuk pertanian ataupun pengolahan tanah secara intensif merupakan salah satu penyebab meningkatnya emisi CO₂. Indonesia sebagai salah satu negara tropika basah dengan laju pelapukan bahan organik tanah yang tinggi disinyalir merupakan salah satu negara yang memiliki andil dalam peningkatan emisi CO₂. Dalam proses dekomposisi bahan organik oleh organisme heterotrof selain dihasilkan kompos juga dilepaskan CO₂ sebagai hasil samping oksidasi bahan organik untuk menghasilkan energi.



Konversi pemanfaatan bahan organik oleh organisme tanah untuk menghasilkan energi dan sintesis bahan-bahan pembentuk sel baru untuk mempertahankan kehidupannya (Alexander, 1977). Hasil samping yang dihasilkan dalam proses dekomposisi bahan organik antara lain CO₂, asam-asam organik, alkohol, dan lain-lain. Dekomposisi bahan organik pada kondisi aerobik 20-40% C-organik terasimilasi dalam sel dan sisanya sebagai CO₂ ataupun produk samping. Diantaranya C yang terasimilasi dalam pembentukan sel baru bagi bakteri aerobik sebanyak 5-10% dan pada bakteri anaerobik hanya sebanyak 2-5%. Dalam proses dekomposisi bahan organik C banyak hilang oleh respirasi mikroba tanah, sedangkan N banyak terasimilasi dalam sel mikroba dan dekomposisi akan terhenti setelah mencapai kesetimbangan C:N seperti pada biomasa mikroba (Coleman and Crossley, 1995). Sementara dari jenis fungi dapat mengendalikan C-organik tanah, karena dalam proses dekomposisi bahan organik tanah pelepasan C sebagai CO₂ sangat rendah dan 30-40% C-organik tersimpan sebagai meselium (Alexander, 1977). Sedang fauna tanah yang berperan penting dalam dekomposisi bahan organik tanah adalah dari kelompok meso dan mikro fauna, termasuk cacing tanah. Fauna tanah berperan dalam pemecahan bahan organik secara fisik menjadi ukuran yang lebih halus dan dilepaskan kembali sebagai kotoran (Walters, 1991 dalam Coleman and Crossley, 1995). Bahkan untuk jaringan dari insekta tanah banyak dibangun dari bahan kitin dan sangat tahan terhadap pelapukan, sehingga dapat melindungi C-organik dalam tanah dan terhindar dari pelepasan sebagai CO₂. Makulec dan

Kusinha (1997) juga mendapatkan bahwa kandungan C pada kascing selalu lebih tinggi (± 2 kali) dari pada kandungan C tanah di sekitarnya. Martin (1991) juga mendapatkan bahwa mineralisasi C pada kascing 4 kali lebih lambat (3%/th) dibanding pada tanah (11%/th). Pada saatnya setelah organisme tanah mati pada prinsipnya juga merupakan salah satu sumber bahan organik tanah.

Masalah yang dihadapi pada tanah pertanian yang mengalami pengolahan tanah ataupun aplikasi pestisida intensif dan memiliki penutupan rendah menekan berkembangnya populasi fauna tanah, sehingga aktivitas perombakan bahan organik dilakukan langsung oleh mikroorganisme tanah dan laju penyusutan bahan organik tanah menjadi lebih cepat. Hasil inventarisasi populasi cacing tanah *Pheretima hupiensis* pada tanah Ultisols didapatkan bahwa pada tanah terbuka (padang rumput) dan intensitas pengolahan tinggi (lahan padi gogo) mempunyai populasi lebih rendah dibanding pada tanah yang lebih permanen dan berpenutupan lebih tinggi, seperti kebun karet, pisang, sengon, dan belukar (Tabel 4).

Sejalan dengan upaya efisiensi penggunaan bahan organik tanah dengan memberdayakan aktivitas organisme tanah, maka peningkatan populasi fauna tanah (meso dan mikro fauna) ataupun fungi tanah yang mempunyai andil dalam memperbaiki kesuburan tanah juga dapat mencegah kehilangan C-organik tanah dan menekan pelepasan emisi CO₂. Untuk itu pemberdayaan sumberdaya hayati tanah, utamanya fauna dan fungi tanah akan mampu mempertahankan kandungan C-organik tanah dan kesuburan tanah tetap tinggi.

Tabel 4. Populasi cacing tanah *Pheretima hupiensis* pada tanah Ultisols beberapa penggunaan lahan

Bulan (musim)	Penggunaan lahan					
	Semak belukar	Padang rumput	Kebun sengon	Kebun pisang	Kebun karet	Padi gogo
..... populasi cacing tanah/m ²						
Maret (musim hujan)	7	2	20	45	49	4
Juli (peralihan MH ke MK)	26	-	52	17	35	6
Agustus (musim kering)	16	-	19	14	12	1

Sumber : Subowo *et al.* (2002)

Pengendalian hama-penyakit tular tanah

Organisme yang hidup di dalam tanah ada yang dapat berperan sebagai predator, detritifor ataupun sebagai hama-penyakit tanaman. Peledakan hama penyakit tular tanah sering terjadi akibat hilangnya predator akibat penggunaan pestisida ataupun sistem pengelolaan lahan yang kurang selektif. Sementara dalam rangka menetapkan evaluasi kesesuaian lahan faktor populasi organisme yang memiliki peluang sebagai organisme penyubur tanah ataupun yang berpotensi sebagai hama penyakit tidak termasuk dalam parameter yang dipertimbangkan (Tabel 3). Akibatnya sering terjadi wilayah yang direkomendasikan untuk kegiatan produksi pertanian pada saat tertentu muncul serangan hama-penyakit tanah. Kasus serangan jamur upas (*Fusarium*) pada lahan pisang, serangan jamur akar putih pada lahan karet, serangan *Ganoderma* pada lahan kelapa sawit merupakan bukti pentingnya mempertimbangkan sumberdaya hayati tanah sebagai faktor yang perlu dipertimbangkan dalam evaluasi kesesuaian lahan. Sementara pengendalian secara kimiawi dengan aplikasi di dalam tanah akan memerlukan biaya yang cukup besar dan kurang efektif. Apabila terjadi pada tanaman tahunan yang memerlukan investasi besar dan berjangka panjang, maka kondisi ini akan menimbulkan kerugian yang sangat besar.

Beberapa hama tanah yang sering mengganggu sistem produksi pertanian antara lain hama sundep, blast, *Agromyces*, uret. Sedang untuk penyakit antara lain *Fusarium*, *Nematoda*, *Pithium*, *Pithoptora*, kresek (*Xantomonas*). Sementara predator alami yang mampu menekan perkembangan populasi organisme hama-penyakit ini antara lain dari kelompok insekta tanah (*Collembola*, *Coleoptera*, dan lain-lain). Fungi tanah *Arthrotrichum*, *Dactylaria*, *Dactylella*, dan *Harposporium*, dengan aerasi tanah yang baik mampu hidup di tanah masam lahan kering serta mampu mematikan *Nematoda* ataupun *Protozoa* yang banyak berperan sebagai penyakit pada akar tanaman (Alexander, 1977). Selain itu fungi berperan dalam dekomposisi selulosa, hemiselulosa, pektin, dan lignin. Pemberdayaan

organisme predator melalui perbaikan habitat/mikroklimat organisme predator akan mampu menekan serangan hama-penyakit tular tanah secara alami dan kondusif mengikuti dinamika serangannya dan murah.

Strategi efisiensi penggunaan bahan organik untuk produksi pertanian

Bahan organik mempunyai peranan penting sebagai bahan pemicu kesuburan tanah, baik secara langsung sebagai pemasok hara bagi organisme autotrof (tanaman) juga sebagai sumber energi bagi organisme heterotrof (fauna dan mikroorganisme tanah). Meningkatnya aktivitas biologi tanah akan mendorong terjadinya perbaikan kesuburan tanah, baik kesuburan fisik, kimia maupun biologi tanah. Perbaikan sifat fisik, kimia dan biologi tanah yang searah dengan kebutuhan tanaman (*plant requirement*) tanaman target akan mampu memperbaiki pertumbuhan dan produksi tanaman. Hasil penelitian Subowo *et al.* (2002) didapatkan bahwa inokulasi cacing tanah *Pheretima hupiensis* (*endogaesis*) pada tanah Ultisols dengan diikuti pemberian bahan organik secara vertikal sampai pada lapisan argilik dan pengolahan tanah minimum memberikan hasil kedelai lebih tinggi dibanding dengan perlakuan pemberian bahan organik secara mulsa dan pengolahan tanah dalam (Tabel 5). Adanya bahan organik sampai lapisan argilik, cacing tanah memanfaatkan sebagai sumber makanan dan melakukan pengolahan tanah di lapisan bawah/argilik, sehingga menurunkan kepadatan lapisan argilik dan meningkatkan aerasi tanah. Peningkatan aerasi tanah memberikan dukungan yang baik bagi berkembangnya *Rhizobium* dalam bintil akar kedelai untuk melakukan aktivitas penambatan N dan meningkatkan pertumbuhan/produksi kedelai. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh langsung pemberian bahan organik meningkatkan aktivitas cacing tanah. Selanjutnya aktivitas cacing tanah memperbaiki aerasi tanah untuk meningkatkan aktivitas penambatan N oleh *Rhizobium*, sehingga dapat memperbaiki pertumbuhan tanaman kedelai.

Tabel 5. Rata-rata produksi kedelai, pengaruh pengolahan tanah, cara pemberian bahan organik dan inokulasi *P. hupiensis* pada tanah Ultisols

No.	Cara pemberian BO	Cara pengolahan tanah*			Rata-rata
		Olah minimum	Olah atas	Olah dalam	
	 t/ha			
1.	Vertikal	2,36 b B	2,17 a B	1,77 a A	2,10
2.	Alur	1,83 a A	2,11 a A	1,95 a A	1,96
3.	Mulsa	1,90 a A	1,88 a A	2,06 a A	1,95
	Rata-rata	2,04	2,05	1,93	

Sumber : Subowo *et al.* (2002)

Catatan :* Angka yang diikuti dengan oleh huruf kecil dalam kolom dan huruf besar dalam baris yang sama tidak berbeda nyata sampai taraf nyata 5% (DMRT).

Masalah yang dihadapi dalam penggunaan bahan organik yang bersifat bulky (*volumeous*) dan berada di wilayah kepulauan (\pm 13.700 pulau) serta memiliki laju pelapukan yang cepat, maka selain sulitnya dalam pengadaan dan konservasi juga transportasi yang mahal. Anas *et al.* (2010) telah menemukan bahwa petani di Jombang (Jawa Timur) yang menerapkan SRI sejak 2007-2009 untuk lahan seluas 625 ha telah mengalami kesulitan mendapatkan pupuk organik. Hal ini menunjukkan bahwa petani telah menyadari pentingnya bahan organik untuk meningkatkan produksi padi sawah. Namun dengan orientasi bahan organik sebagai sumber hara tanaman diperlukan dosis yang besar, sehingga mengalami kesulitan dalam pengadaannya. Untuk itu nilai fungsi bahan organik hendaknya dapat ditingkatkan efektifnya dengan orientasi bukan hanya sebagai sumber hara langsung bagi tanaman semata, namun juga sebagai sumber energi organisme tanah ataupun perbaikan sifat fisik tanah untuk memperbaiki kesuburan tanah. Adanya bahan organik tanah dapat meningkatkan aktivitas organisme tanah, sehingga dapat membantu menyediakan hara, memperbaiki sifat fisik tanah, ataupun dapat menekan aktivitas organisme hama-penyakit.

Langkah-langkah strategis yang perlu dipertimbangkan agar bahan organik efektif untuk perbaikan pertumbuhan dan produksi tanaman antara lain :

Analisis faktor pembatas kesuburan tanah untuk produksi tanaman

Ketersediaan hara tanah merupakan faktor utama untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Tanpa dukungan keharaan tanah yang cukup tanaman akan mengalami hambatan pertumbuhan. Sesuai dengan kondisi fisiologi tanaman, ketersediaan hara tanah akan diserap oleh akar tanaman melalui sistem pertukaran ion ataupun proses difusi. Melalui proses ini hara tanah akan masuk ke jaringan tanaman dan melalui proses metabolisme hara-hara tersebut mendukung pertumbuhan tanaman. Apabila jumlah ataupun jenis hara tidak tercukupi, maka tanaman akan tumbuh merana. Untuk itu perlu dilakukan evaluasi faktor pembatas ini, sehingga dapat dilakukan upaya perbaikan melalui pemberian bahan organik yang efisien.

Untuk menguji faktor pembatas daya dukung tanah dapat dilakukan dengan melihat tampilan tanaman yang ada ataupun melalui hasil analisis tanaman ataupun kesuburan tanah. Dari faktor pembatas sifat fisik, kimia ataupun biologi tanah yang ada, selanjutnya dipilih upaya perbaikan yang dapat dilakukan. Perbaikan secara langsung untuk sifat fisik tanah dengan pengolahan tanah, sifat kimia tanah dengan pemupukan, dan biologi tanah dengan melakukan inokulasi organisme. Sedang perbaikan secara tidak langsung dapat dilakukan dengan pemberian

bahan organik ataupun bahan amelioran lain. Adanya bahan organik ini akan memberikan pasokan energi bagi organisme tanah dan selanjutnya dapat memperbaiki kondisi fisiko-kimia tanah. Jenis, jumlah dan cara pemberian bahan organik hendaknya disesuaikan dengan upaya perbaikan faktor-faktor pembatas yang ada, sehingga penggunaan bahan organik lebih efektif dan bernilai guna.

Evaluasi organisme tanah native potensial untuk perbaikan pertumbuhan tanaman

Masing-masing subsistem tanah pada prinsipnya memiliki kondisi biofisik tanah yang berbeda. Hal-hal yang mempengaruhi daya dukung tanah selain dari bahan induk pembentuk tanah juga kondisi lingkungan yang menyertainya, termasuk daya dukung biologi tanah baik sebagai organisme yang mampu memasok hara, memperbaiki sifat fisik tanah, sebagai predator, ataupun sebagai hama-penyakit tanaman. Indonesia memiliki keanekaragaman jenis organisme yang tinggi (*megabiodiversity*), termasuk populasi organisme tanah. Namun pemanfaatannya untuk mendukung produksi komoditi pertanian sering kali belum mampu memberikan manfaat secara langsung, karena kondisi lingkungan belum sesuai untuk mendukung aktivitasnya. Inventarisasi jenis dan populasi organisme tanah *native* penting dilakukan, sehingga dapat diketahui secara pasti potensi daya dukungnya. Apabila jenis organisme target telah tersedia dapat dilakukan upaya perbaikan habitatnya dengan ameliorasi, sehingga nilai manfaat organisme tersebut dapat mendukung pertumbuhan tanaman. Sebaliknya apabila tidak terdapat organisme yang mampu mendukung perbaikan pertumbuhan tanaman dapat dilakukan introduksi/inokulasi dan diikuti ameliorasi agar kondisi fisiko-kimia tanah sesuai untuk mendukung aktivitas organisme target.

Dengan diketahuinya daya dukung organisme tanah *native* yang telah terseleksi secara alami dalam kurun waktu yang panjang kita dapat mendayagunakan potensi biologi tanah, baik melalui kemampuannya meningkatkan ketersediaan hara, memperbaiki sifat kimia dan

fisik tanah serta kemampuannya untuk mencegah serangan hama-penyakit tanaman. Penggunaan bahan amelioran ataupun bahan organik untuk mendukung aktivitas biologi tanah akan lebih efektif dan berkelanjutan sesuai dengan dinamika klimak ekosistem tanah.

Pemberdayaan organisme tanah sebagai agen pembalik kesuburan tanah

Banyak organisme di dalam tanah yang mampu meningkatkan ketersediaan hara tanah ataupun perbaikan sifat fisik-kimia tanah untuk pertumbuhan tanaman. Dengan diketahuinya faktor pembatas untuk pertumbuhan tanaman dan jenis organisme tanah *native* yang ada, maka upaya untuk memperbaiki daya dukung tanah untuk tanaman dapat dilakukan lebih mudah dan efektif dengan mengaktifkan peranan organisme tanah *native* ataupun introduksi yang mampu mengatasi permasalahan faktor pembatas pertumbuhan tanaman tersebut. Dengan memberikan kondisi habitat yang baik bagi aktivitas organisme tanah, maka pertumbuhan tanaman akan mampu tumbuh dengan baik.

Pemberian bahan organik merupakan kunci utama untuk dapat mengaktifkan peranan organisme tanah yang sebagian besar merupakan organisme heterotrof yang sangat membutuhkan bahan organik sebagai sumber energi. Tingginya aktivitas organisme tanah yang mampu memperbaiki kesuburan tanah dan mencegah adanya serangan hama penyakit tanaman akan mampu memberikan dukungan untuk produksi tanaman. Seleksi *input* teknologi sesuai dengan kebutuhan organisme target untuk perbaikan kesuburan tanah merupakan langkah yang tepat agar penggunaan bahan organik tanah efektif dan bernilai guna untuk mendukung produksi tanaman.

KESIMPULAN

1. Dalam upaya meningkatkan produktivitas tanah di Indonesia yang berada di kawasan vulkanik tropika basah dengan kandungan bahan organik tanah rendah, pemberian bahan organik mutlak diperlukan. Masalah

yang dihadapi kemampuan produksi bahan organik rendah, laju pelapukan bahan organik tinggi juga bersifat bulky dan berada di wilayah kepulauan, sehingga sulit dalam pengadaan dan konservasi bahan organik juga biaya transportasi yang mahal.

2. Pemberian bahan organik dengan tujuan pemberdayaan sumberdaya hayati tanah untuk meningkatkan kesuburan tanah potensial perlu diupayakan. Selain memerlukan dosis yang lebih rendah juga dapat meningkatkan konservasi bahan organik tanah dan menekan emisi CO₂.
3. Dalam menentukan evaluasi kesesuaian lahan hendaknya perlu mempertimbangkan adanya peranan populasi organisme tanah untuk mendukung produksi tanaman dan menjaga kelestarian kandungan bahan organik tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, M. 1977. Introduction of Soil Microbiology. John Wiley and Sons, New York-Chichester-Brisbane-Toronto-Singapore.
- Anas, I., M.P. Utami, N. Hakim, dan F. Rozie. 2010. Peranan Pupuk Organik dan Pupuk Hayati dalam Meningkatkan Produksi Padi untuk Mencapai Swasembada beras berkelanjutan. Hlm 20. *Dalam* Prosiding Semnas Peranan Pupuk NPK dan Organik dalam Meningkatkan Produksi dan Swasembada Beras Berkelanjutan. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor, 24 Februari 2010.
- Coleman, D.C. and D.A. Crossley Jr. 1995. Fundamental of Soil Ecology. Academic Press. San Diego. New York. Boston. London. Sydney. Tokio. Toronto.
- Curry, J.P., D. Byrne, and K.E. Boyle. 1995. The earthworm population of winter cereal field and its effects on soil and nitrogen turnover. *Biol. Fertil. Soils.* (19):166-172.
- Edwards, C.A., and J.R. Lofty. 1977. Biology of Earthworms. A Halsted Press Boo, John Wiley & Sons, New York.
- Erfandi, D., U. Kurnia, dan I. Juarsah. 2004. Pemanfaatan Bahan Organik dalam Perbaikan Sifat Fisik dan Kimia Tanah Ultisols. Hlm 77-85. *Dalam* Prosiding Semnas. Pendayagunaan Tanah Masam, Buku II, Puslitbang Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Kariada, I K. dan I B. Aribawa. 2009. Kajian peranan pupuk organik dalam mendukung pengelolaan terpadu (PTT) di Subak Mangku, Tabanan, Bali. Hlm 265-276. *Dalam* Prosiding Semiloka Nas. Inovasi Sumberdaya Lahan: Inovasi Teknologi Sumberdaya Lahan Mendukung Sistem Pertanian Industrial, Bogor 24-25 November 2009.
- Kasno, A., Nurjaya, dan D. Ardi S. 2009. Neraca hara N, P, dan K pada pengelolaan hara terpadu lahan sawah bermineral liat campuran dan 1:1. Hlm 205-219. *Dalam* Prosiding Semiloka Nas. Inovasi Sumberdaya Lahan: Inovasi teknologi Sumberdaya Lahan Mendukung Sistem Pertanian Industrial, Bogor 24-25 November 2009.
- Lal, R. 1995. Sustainable Management of Soil Resources in the Humic Tropics. United nations University Press, Tokio-New York-Paris. Pp 25-29.
- Las, I. dan D. Setyorini. 2010. Kondisi Lahan, Teknologi, Arah, dan Pengembangan Pupuk Majemuk NPK dan Pupuk Organik. Hlm 47. *Dalam* Prosiding Semnas Peranan Pupuk NPK dan Organik dalam Meningkatkan Produksi dan Swasembada Beras Berkelanjutan. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor 24 Februari 2010.
- Makulec, G. and A. Kusinska. 1997. The role of earthworms (*Lumbricidae*) in transformations of organic matter and in the nutrient cycling in the soils of ley meadow and permanent meadows. *Ekologia Polska (Ekol. pol)* 45(3-4):825-837.
- Martin, A. 1991. Short and long-term effects of endogeic earthworm *Milsonia anomala* (Omodeo) (*Megascolecidae, Oligochaeta*) of tropical savanna, on soil organic matter. *Biol. Fertil. Soils* (11):234-238.

- Pusat Penelitian Tanah. 1983. Term of Reference (TOR): Survei Kapabilitas Tanah. Proyek Penelitian Pertanian Menunjang Transmigrasi (P3MT). Kerjasama Pusat Penelitian Tanah dan Departemen Transmigrasi.
- Sholeh, D. Nursyamsi, dan J.S. Adiningsih. 1997. Pengelolaan bahan organik dan nitrogen untuk tanaman padi dan ketela pohon pada lahan kering yang mempunyai tanah Ultisols di Lampung. Hlm 193-206. *Dalam* Prosiding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat.
- Stork, N.E. and P. Eggleton. 1992. invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture* 7(1 and 2):38-47.
- Subowo, I. Anas, G. Djajakirana, A. Abdurachman, dan S. Hardjowigeno. 2002. Pemanfaatan cacing tanah untuk meningkatkan produktivitas Ultisols lahan kering. *Jurnal Tanah dan Iklim* 20:35-46.
- Sudriatna, U. dan Subowo. 2007. tanggap kacang hijau terhadap sisa bahan amelioran pada tanah Inceptisols dan Alfisols. Hlm 12. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Hasil-hasil Penelitian dan Pengkajian Teknologi Pertanian, Palembang, 26-27 Juli 2006.
- Sutono, S., H. Kusnadi, dan U. Kurnia. 2009. Baku Mutu Tanah pada Lahan Terdegradasi di Daerah Aliran Sungai Citanduy. Makalah disampaikan pada Semiloka Nas. Inovasi Sumberdaya Lahan: Inovasi teknologi Sumberdaya Lahan Mendukung Sistem Pertanian Industrial, Bogor 24-25 November 2009.
- Swift, M.J., O.W. Heal, and J.M. Anderson. 1979. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Blackwell, Oxford.
- Vidyarthi, G.S. and R.V. Misra. 1982. The role and importance of organic materials and biological nitrogen fixation in rational improvement of agricultural production. *FAO Soils Bulletin*, No. 45.
- Williams, C.N. and K.T. Joseph. 1976. *Climate Soil and Crop Production in Humic-tropics*. Kualalumpur, Oxford University Press. London.
- Yusnaini, M.A.S. Arif, J. Lumbanraja, S.G. Nugroho, dan M. Monaha. 2004. Pengaruh jangka panjang pemberian pupuk organik dan inorganik serta kombinasinya terhadap perbaikan kualitas tanah masam Taman Bogo. Hlm 283-293. *Dalam* Prosiding Semnas. Pendayagunaan Tanah masam, Buku II, Puslitbang Tanah dan Agroklimat. Bogor.