

PEMANFAATAN PUPUK HAYATI CACING TANAH UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI PENGELOLAAN TANAH PERTANIAN LAHAN KERING

Subowo

Peneliti BPTP Sumsel, Ketua Komisi Pangan DRD Sumsel

Abstrak

Pembangunan pertanian yang lebih berorientasi pada efisiensi pemanfaatan sumberdaya alam dan aman lingkungan mendorong penyempurnaan konsep pengelolaan lahan sebagai sarana produksi pertanian. Keselarasan antara pendekatan pengelolaan lahan dengan dinamika ekosistem lahan menjadi faktor penting. Tanah lahan kering di kawasan tropika basah umumnya memiliki lapisan bawah yang padat dan miskin bahan organik, sehingga populasi organisme detritivor tanah rendah dan organisme hama penyakit bawaan tanah berkembang. Adanya fauna tanah yang dalam siklus hidupnya dapat membuat lobang dalam tanah (burrower) seperti cacing tanah akan mencegah pemadatan tanah dan meningkatkan aerasi tanah serta mencampur antara tanah dan bahan organik dari lapisan atas dan lapisan bawah. Untuk itu peluang pemanfaatan cacing tanah sebagai agen biologi untuk memperbaiki kesuburan tanah dan melestarikan produktivitas lahan kering dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan limbah organik, efisiensi usaha tani, pengelolaan tanah, pemupukan dan pengendalian hama penyakit.

Abstract

Agriculture development that is oriented to the efficient use of the natural resources and environmental save sound has boosted the effort to obtain the best concept in land management for agricultural product. The dynamic of land approaches and land ecosystem are important. In general upland area in wet tropical region has a compacted subsurface horizon and low organic material, hence the population of the detritivor low and plant soil born diseases organisms exist and develop. The burrower soil fauna such as earthworm will prevent soil compaction, increase soil aeration, and mixing of soil and organic matter in the surface and subsurface. Therefore, the potential use of earthworm as biologic agent to increase soil fertility and sustain land productivity to obtain the efficient use of organic wastes, farming systems, soil management, fertilization and the protection of plant soil born diseases.

Latar Belakang

Dalam rangka internasionalisasi pembangunan pertanian yang lebih berorientasi pada efisiensi pemanfaatan sumberdaya alam dan aman lingkungan mendorong penyempurnaan konsep pengelolaan lahan sebagai sarana produksi pertanian. Keselarasan antara pendekatan pengelolaan lahan dengan dinamika ekosistem lahan menjadi faktor penting. Sumberdaya hayati tanah yang merupakan salah satu komponen ekosistem berperan dalam pendauran dan pengkayaan hara tanah serta memperbaiki sifat fisik tanah. Di lain pihak beberapa organisme tanah dapat merugikan tanaman sebagai hama penyakit. Pemanfaatan sumberdaya hayati tanah untuk meningkatkan produktivitas tanah secara alami dan lestari perlu dikembangkan.

Kondisi wilayah Indonesia yang sebagian besar berada di tropika basah dengan bentuk lahan bergelombang, maka sebagian besar memiliki kemiringan lereng yang cukup tinggi dan didominasi oleh lahan kering. Sementara pengembangan pertanian lahan kering memerlukan pengolahan tanah yang intensif agar

daya dukung tanah untuk tanaman tetap tinggi. Namun pengolahan tanah mengganggu aktivitas organisme tanah, termasuk cacing tanah yang berperan penting dalam pendauran hara dan perbaikan sifat fisik tanah situ sendiri. Akibatnya populasi organisme tanah rendah dan daur hara serta perbaikan sifat fisik tanah secara alami menjadi terputus. Ketergantungan dengan pasokan pupuk dari luar dan upaya perbaikan sifat fisik tanah secara mekanis untuk mendukung pertumbuhan tanaman menjadi semakin besar yang pada gilirannya usaha tani menjadi mahal.

Mekanisasi menggunakan alat berat untuk pengolahan tanah selain dapat memadatkan tanah lapisan bawah juga dapat mengganggu populasi organisme tanah, utamanya makro dan meso fauna. Abbot *et. al.* (1979) dalam McCredie *et. al.* (1992) menyatakan bahwa kondisi fisik tanah lahan budidaya mengalami kemerosotan sangat tajam, dan fauna tanah yang memiliki ukuran panjang > 2 mm mengalami penurunan. Padahal fauna ini sangat bermanfaat bagi vegetasi alami untuk menjaga kondisi fisik tanah. Pemulihan kembali aktivitas organisme tanah, utamanya

fauna tanah pada tanah lahan pertanian intensif penting untuk ditingkatkan.

Pada tanah tropika basah setelah pembukaan lahan dan pengolahan tanah terjadi penyusutan kandungan humus secara cepat, sehingga kesuburan tanah cepat merosot (Martin, 1991). Rendahnya kandungan bahan organik akan menekan aktivitas organisme tanah, terutama fauna tanah sebagai organisme detritifora. Sementara organisme hama-penyakit tanaman yang mampu memanfaatkan/menyerang jaringan tanaman hidup justru mengalami peningkatan. Alternatif teknologi pengelolaan lahan yang murah dan ramah lingkungan perlu diupayakan.

Fauna tanah yang dalam siklus hidupnya dapat membuat lobang dalam tanah (burrower), seperti cacing tanah akan menghancurkan/mencegah terjadinya pemadatan tanah serta mencampur antara tanah lapisan atas dan tanah lapisan bawah. Kepadatan tanah dapat menurunkan secara nyata berat, volume, kerapatan dan panjang akar dan nisbah antara akar dan batang (Rachman and Ito, 1996). Penurunan kepadatan tanah mineral akan

Jurnal Pembangunan Manusia memperbaiki sifat fisika, kimia dan biologi yang selanjutnya meningkatkan pertumbuhan tanaman. Scholes *et. al.* (1994) menyatakan bahwa untuk memperbaiki dan mempertahankan kesuburan tanah tropika adalah dengan memanipulasi populasi biologi tanah. Selanjutnya Reddy *et. al.* (1995) menyatakan, masih sedikit penelitian mengenai peranan cacing tanah di ekosistem tanah pertanian tropika dan tanggapannya terhadap kegiatan pertanian moderen.

Kondisi tanah lahan kering dan peranan cacing tanah untuk pertanian.

Sebagian besar tanah di Indonesia merupakan tanah lahan kering dan memiliki lapisan subsoil yang padat, sehingga akar tanaman tidak mudah menembus lapisan bawah dengan baik, perkolasi air lambat, erosi dan pencucian hara berlangsung intensif. Lubis (1992) menyatakan bahwa tanaman kelapa sawit roboh adalah merupakan salah satu gangguan alami pada usaha perkebunan kelapa sawit di Indonesia yang sebagian besar berada pada tanah *Podsolik Merah Kuning (Ultisols)*. Tanah lapisan atas tipis, tanah lapisan bawah padat (argilik),

bahan organik tanah cepat terdekomposisi dan tidak terdistribusikan sampai ke lapisan bawah, hara N dan pH tanah rendah (masam). Organisme hama-penyakit tanaman bawaan tanah berkembang dengan baik, utamanya dari kelompok jamur benang seperti *Fusarium* yang menyerang akar tanaman. Pemberantasan hama-penyakit bawaan tanah dengan menggunakan pestisida sulit dilakukan dan mahal. Daya dukung tanah untuk tanaman ataupun organisme detritivor termasuk cacing tanah rendah. Pengolahan tanah untuk memperbaiki sifat fisik, kimia dan pengendalian hama-penyakit bawaan tanah mutlak diperlukan agar produksi pertanian tetap tinggi dan lestari.

Cacing tanah dengan pemberian bahan organik yang cukup dan penempatan yang baik dapat membuat lobang di dalam tanah dan melakukan pengolahan tanah dengan mencampur bahan organik dan tanah sampai lapisan bawah serta dihasilkan casting yang didepositkan di *rhizosfir*. Kepadatan tanah menurun, aerasi tanah meningkat, bahan organik dan hara yang terakumulasi dalam casting terdistribusi di daerah perakaran tanaman. Akar tanaman dapat

Jurnal Pembangunan Manusia

menembus sampai lapisan bawah dan ketersediaan hara di daerah *rhizosfir* lebih tinggi. Aktivitas organisme aerobik, seperti bakteri *Rhizobium* yang mampu menambat N_2 -udara meningkat yang selanjutnya dapat meningkatkan produksi tanaman. Adanya N dalam bentuk NH_4^+ , K dan pH yang tinggi pada casting akan menekan *Fusarium*, sehingga dapat melindungi akar tanaman dari serangan *Fusarium*.

Rendahnya populasi cacing tanah di tanah, maka perlu diupayakan teknologi produksi inokulan cacing tanah sebagai pupuk hayati tanah agar mudah dalam aplikasi di lapangan dengan jumlah populasi yang cukup.

Karakterisasi dan tempat hidup cacing tanah

Habitat cacing tanah pada prinsipnya dapat ditemukan pada tanah lahan kering masam sampai alkali (basa) yang memiliki kecukupan air. Jenis-jenis cacing tanah native biasanya hidup pada tanah-tanah bertekstur halus, umumnya liat, liat berdebu atau lempung berdebu dan jarang ditemukan pada tanah berpasir. Kebanyakan hidup pada pH antara 4,5 – 6,6 tetapi dengan kandungan bahan organik tanah yang tinggi mampu berkembang pada pH 3,0 (Fender and

Mckey-Fender, 1990). Berdasarkan jenis makanan yang dimakan, cacing tanah dikelompokkan dalam 3 kelompok, yaitu

1. *Geofagus* : pemakan tanah
2. *Limifagus* : pemakan tanah subur (mud) atau tanah basah.
3. *Litter feeder* : pemakan bahan organik (sampah, kompos, pupuk hijau)

Pembuatan lobang oleh cacing tanah tidak hanya untuk mendukung pergerakan cacing tanah untuk menghindari dari tekanan lingkungan, tetapi juga diperuntukkan sebagai tempat untuk menyimpan dan mencerna makanan (Schwert, 1990). Setelah melalui pencernaan sisa-sisa bahan yang termakan tersebut dilepaskan kembali sebagai buangan padat (casting). Edwards dan Lofty (1972) dalam Schwert (1990) mengatakan bahwa sebagian besar bahan mineral yang dicerna cacing tanah dikembalikan ke dalam tanah dalam bentuk kotoran (casting) yang lebih tersedia bagi tanaman. Dalam casting cacing tanah Ca, Mg dan K dapat tukar serta K dan Mo tersedia mengalami peningkatan. Subowo (2002) mendapatkan bahwa casting *Pheretima hupiensis* dari *Ultisol* mempunyai indek stabilitas agregat,

Jurnal Pembangunan Manusia pH, KTK, K, dan bahan organik lebih tinggi dibanding tanah disekitarnya, dan casting tersebut didepositkan kembali dalam lobang cacing yang ditinggalkan. Hal ini menunjukkan bahwa *P. hupiensis* mampu berperan sebagai agen pengumpul hara tanah dan selanjutnya didistribusikan ke *rhizosfir*, sehingga dapat lebih tersedia bagi tanaman.

Aktivitas cacing tanah di dalam tanah dapat menghancurkan kepadatan tanah lapisan atas melalui pembentukan lobang-lobang sebagai tempat aktivitas hidupnya juga akan memasukkan bahan organik tanah dari lapisan atas ke dalam tanah. Cacing tanah mampu melakukan penggalian lobang sampai mencapai lebih dari 1 m untuk menghindari dari tekanan lingkungan yang kurang menguntungkan (Richard, 1978). Melalui lobang-lobang tersebut juga akan mampu memasukkan air ke dalam tanah dengan volume yang lebih besar. Dengan peningkatan infiltrasi air permukaan tersebut, maka laju aliran permukaan dan erosi tanah menjadi berkurang. Agregat tanah lapisan atas menjadi tetap terjaga dan laju infiltrasi air hujan tetap tinggi. Lobang-lobang tersebut juga memperbaiki aerasi tanah, sehingga

aktivitas respirasi akar tanaman maupun mikroba aerobik tetap berlangsung dengan baik. Selain itu cacing tanah juga berperan langsung dalam penghancuran fraksi-fraksi organik tanah dan mencampur tanah lapisan atas dan lapisan bawah, sehingga distribusi dan siklus C-organik lebih lama berada di dalam tanah. Adanya penggemburan tanah oleh cacing tanah dapat menambah kapasitas tanah mengikat air yang selanjutnya mengurangi erosi, aliran permukaan (run off), pencucian hara, menjaga kelembaban tanah serta dapat menyeimbangkan suhu dalam tanah.

Hubungan bahan organik, kadar air tanah, dan aktivitas cacing tanah.

Cacing tanah yang bersifat detritifora, selektif dalam memilih bahan organik (palatabilitas) yang bergantung pada nilai C:N, kandungan lignin dan polipenol. Sedang untuk cacing tanah yang bersifat geofagus tidak secara nyata dipengaruhi oleh faktor palatabilitas tersebut (Hendriksen, 1990). Dengan demikian cacing tanah geofagus ini dapat melakukan proses pencernaan terhadap segala bentuk C-organik yang ada di dalam tanah. Bahkan cacing tanah mampu mengakumulasi

Jurnal Pembangunan Manusia

logam berat pada jaringannya Pemupukan dengan kotoran babi yang mengandung Cu tinggiberkorelasi nyata dan positif dengan Cu dalam biomasa cacing tanah (Curry, 1976 *dalam* Madge, 1981).

Pelepasan C-organik harian melalui ekskresi mucus dari permukaan tubuh dan pada kotoran cacing tanah adalah 0,2 – 0,5 % dari total biomasa cacing tanah (Scheu, 1991). Di savana Lamto didapatkan bahwa komunitas cacing tanah geofagus setiap tahun mampu mencerna tanah 800 – 1100 ton/ha/th, utamanya pada tanah lapisan atas, sehingga > 60 % dari humus pool dari lapisan atas sampai kedalaman 10 cm telah mengalami pencernaan oleh cacing (Lavelle, 1978 *dalam* Martin, 1991). Setelah tercerna oleh cacing akan dihasilkan kotoran yang merupakan makro agregat stabil dan agregat ini dapat bertahan lebih dari 1 tahun (Blanchart *et al.* 1991 *dalam* Martin, 1991). Rata-rata kandungan C-organik pada kotoran cacing mencapai 2 kali lebih tinggi untuk lapisan 0 – 5 cm dan 3 kali untuk lapisan 5 – 10 cm.

Dekomposisi bahan organik yang lambat, erosi tanah yang rendah, adanya pasokan C-organik dari

biomasa tanaman maupun dari eksudat organisme tanah dengan diikuti tingginya efisiensi penggunaan C-organik oleh organisme tanah berperan penting dalam menjaga kelestarian fungsi bahan organik di dalam tanah (Monreal *et al.* 1997). Dengan tetap tingginya kandungan C-organik di dalam tanah tropika basah akan mampu mendukung kelanggengan nilai fungsi bahan organik untuk meningkatkan produktivitas tanah untuk tanaman. Hasil penelitian yang dilakukan Martin (1991) didapatkan bahwa mineralisasi C dari kotoran cacing tanah *Millsonia anomala* (tropical geofagous earthworm) dibawah kondisi laboratorium > 4 x lebih rendah (3%/th) dibanding dengan yang ada di tanah kontrol (11%/th). Disimpulkan bahwa untuk jangka panjang, *M. anomala* dapat secara nyata menurunkan kecepatan penurunan C-organik tanah.

Cacing tanah membutuhkan kelembaban yang cukup di habitatnya, cacing tanah tidak mampu hidup pada kondisi kering atau daerah padang pasir (Schwert, 1990; Richard, 1978). Air diperlukan untuk ekskresi, pembasahan kulit untuk respirasi dan melicinkan badan untuk bergerak di

Jurnal Pembangunan Manusia lobang dalam tanah. Namun ada sebagian cacing tanah yang mampu mempertahankan hidupnya pada kondisi kering dengan berdiam diri selama beberapa bulan. Daniel (1991) menyatakan bahwa temperatur optimum dan tekanan air tanah untuk melakukan konsumsi makanan *Lumbricus terrestris* pada 22°C dan – 7 kPa, dan pada – 40 kPa sudah tidak mampu makan.

Cacing tanah tidak memiliki mekanisme fisiologik untuk melindungi diri terhadap perubahan tekanan hisapan air tanah. Sampai hisapan 60 kPa tidak menurunkan berat cacing, pada 167 kPa merupakan kondisi perbedaan maksimum antara kandungan air dalam cacing tanah dengan kadar air tanah, dan > 620 kPa cacing tanah mengalami diapouse (Kretzschmar and Bruchour, 1991). Produksi kotoran cacing tanah meningkat dengan meningkatnya berat isi tanah, tetapi aktivitas cacing tanah dibatasi oleh ketahanan mekanik tanah dan menurunnya kadar air (Kretzschmar, 1991).

Pengaruh aktivitas cacing tanah terhadap kesuburan tanah.

Cacing tanah mempunyai peranan dalam dekomposisi bahan

organik secara langsung sebagai pemakan bahan organik dan secara tidak langsung mencampur bahan organik ke dalam tanah, merangsang aktivitas mikroorganisme di kotorannya dan sekitar lobang. Penelitian Abrahamsen (1990) didapatkan bahwa pemberian cacing tanah *Lognettia sphagnetorum* pada "mor humus" steril dari hutan "Mirtillus spruce" dapat meningkatkan kandungan NH_4^+ dan NO_3^- kurang lebih 18% dibanding tanpa pemberian cacing tanah. Hendrix *et al.* (1987) dalam Parmelee *et al.* (1990) menyatakan bahwa cacing tanah mempunyai andil 30% dari total respirasi heterotropik pada sistem tanpa olah tanah dan hanya 5% pada sistem olah tanah pada musim dingin. Spain *et al.* (1992) dalam Lavelle (1992) menyatakan bahwa pertumbuhan tanaman budidaya di tropika mungkin dapat diperbaiki oleh kehadiran cacing tanah geofagus. Untuk itu perbaikan pasokan bahan organik dan pengendalian kadar air tanah yang sesuai untuk mendukung aktivitas cacing tanah akan mampu memperbaiki kesuburan tanah untuk tanaman secara alami dan berkelanjutan.

Melalui pencernaan cacing sejumlah besar partikel tanah dan

bahan organik dicampur dengan mikroorganisme yang hidup di dalam pencernaan cacing, dan selanjutnya dilepaskan kembali sebagai kotoran (casting). Cacing tanah sering kali dianggap memiliki manfaat yang sangat besar di tanah, sebab melalui bangunan lobang-lobang (saluran) yang dihasilkan berperan sebagai saluran udara, air atau tempat menembus akar tanaman, memiliki struktur granular, porous dan struktur yang stabil. Beberapa peneliti menyatakan bahwa kotoran cacing lebih stabil dibanding agregat alami dari tanah (Peele, 1940; Swaby, 1949 dalam Didden, 1990). Diperkirakan peranan kotoran cacing tanah untuk denitrifikasi antara 10,1% dari 29,3 kg/ha/th pada tanah yang tidak dipupuk dan didrainase sampai 22% dari 82,5 kg/ha/th dari petak yang dipupuk tanpa drainase. Umumnya kerapatan dan biomasa cacing tanah pada sistem pertanian tanpa olah tanah 70% lebih tinggi dibanding dengan sistem pertanian dengan pengolahan tanah (Parmelee *et al.*, 1990).

Dari gambaran di atas menunjukkan bahwa keberadaan cacing tanah pada tanah tropika basah akan mampu memperbaiki kesuburan

fisik-kimia dan biologi tanah yang selanjutnya juga akan meningkatkan produksi pertanian.

Kesimpulan.

Cacing tanah sangat berperan penting dalam menjaga kesuburan tanah lahan kering tropika basah untuk pertanian: (1) melalui lobang yang dihasilkan dapat meningkatkan aerasi tanah, mencegah terjadinya pemadatan tanah, (2) mencegah laju penurunan dan mencerna bahan organik di dalam tanah, (3) meningkatkan ketersediaan hara dan menempatkan hara tanah di daerah rhizosfir. Untuk itu pemanfaatan cacing tanah sebagai agen biologi dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan limbah organik, efisiensi usaha tani, pengelolaan tanah, pemupukan dan pengendalian hama penyakit.

Daftar Pustaka.

Abdurachman, A., K. Nugroho dan S. Karama. 1998. Optimalisasi Pemanfaatan Sumberdaya Lahan untuk Mendukung Program GEMA PALAGUNG 2001. Prosiding Seminar Nasional dan Pertemuan Tahunan Komda HITI 1998, Buku I, p: 1 – 11.

Abrahamsen, G. 1990. Influence of *Cognettia sphagnetorum* (*Oligochaeta: Enchytraeidae*) on Nitrogen Mineralization in Homogenized Mor Humic. Biol. Fertil. Soils 9 : 159 - 162.

Daniel, O. 1991. Leaf-litter Consumption and Assimilation by Juveniles of *Lumbricus terrestris* L. (*Oligochaeta, Lumbricidae*) Under Different Environmental Condition. Biol.Fertil. Soils (12), p: 202 - 208.

Didden, W.A.M. 1990. Involvement of *Enchytraeidae* (*Oligochaeta*) in Soil Structure Evolution in Agricultural Fields. Biol. Fertil. Soils (9): 152 - 158.

Fender, W.M. and D. McKey-Fender. 1990. *Oligochaeta* : *Megascolecidae* and Other *Earthworms* from Western North America, In Dindal, D.L., (ed.) Soil Biology Guide. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons. New York. Chichaster. Brisbane. Toronto. Singapore. p: 379 – 391.

Hendriksen, N.B. 1990. Leaf Litter Selection by Detritivor Geophagous *Earthworms*. Biol. Fertil. Soils 10 : 17 - 21.

Kretzschmar, A. 1991. Burrowing ability of the Earthworm *Aporrectodea longa* Limited by Soil Compaction and Water Potential. Biol. Fertil. Soils 11: 48 - 51.

Kretzschmar, A., and C. Bruchou. 1991. Weight Response to the Soil Water Potential of The Earthworm *Aporrectodea longa*. Biol. Fertil. Soils 12 : 209 - 212.

- Lavelle, P., E. Blanchart, A. Martin, A.V. Spain, and S. Martin. 1992^b. Impact of Soil Fauna on the Properties of Soils in the Humid Tropics (Chapter 9), *In* Lal, R. and P.A. Sanches, (eds.) Myths and Science of Soils of the Tropics. SSSA Special Publication Number 29 : 157 – 185.
- Lubis, A. U. 1992. Kelepa Sawit (*Elaeisis guineensis*, jaeq) di Indonesia. Pusat Penelitian Perkebunan Marihat Bandar Kuala, 435 p.
- Madge, D.S. 1981. Influence of Agricultural Practice on Soil Invertebrate Animals. *In* Stonehouse, B. (ed). Biological Husbandry, A Scientific Approach to Organic Farming. Butterworths, London. Boston. Sydney. Dursban. Toronto. Wellington, p: 79 – 98.
- Martin, A. 1991. Short and Long-term Effects of the Endogeic Earthworm *Millsonia anomala* (*Omodeo*) (*Megascolecidae*, *Oligochaeta*) of Tropical Savanna, on Soil Organic Matter. *Biol. Fertil. Soils* 11 : 234 - 238.
- McCredie, T.A., C.A. Parker, and I. Abbott. 1992. Population Dynamic of The Earthworm *Aporrectodea tropezoides* (*Annelida* : *Lumbricidae*) in Western Australia Pasture Soil. *Biol. Fertil. Soils* 12 : 285 - 289.
- Monreal, C.M., R.P. Zentner, and J.A. Robertson. 1997. An Analysis of Soil Organic Matter Dynamics in Relation to Management, Erosion and Yield of Wheat in Long-term Crop Rotation Plots. *Can.J.Soil Sci.*77(4):553-563.
- Parmelee, R.W., M.H. Beare, W. Cheng, P.F. Hendrix, S.J. Rider, D.A. Crossley Jr.; and D.C. Coleman. 1990. *Earthworm* and *Enchytraeids* in Conventional and No-tillage Agroecosystems : A Biocide Approach to Asses Their Role in Organic Matter Breakdown. *Biol.Fertil.Soils* 10: 1–10.
- Rakhman, M.H., and M. Ito. 1996. Effect of Compaction on Soil Three Phase Distribu tion and Soybean Growth in Ando Soils. *Japan J. Trop. Agric.*40(4): 182 - 188.
- Reddy, M.V., V.P.K. Kumar, V.R. Reddy, P. Balashouri, D.F.Yule, A.L. Cogle, and L.S. Jangawad. 1995. *Earthworm* Biomass Response to Soil Management in Semi-arid Tropical *Alfisols* Agroecosystems. *Biol. Fertil. Soils* 19 : 317 - 321
- Richard, B.N. 1978. Introduction to The Soil Ecosystem. Longman, London and New York. p: 43 - 50.
- Scheu, S. 1991. Mucus Excretion and Carbon Turnover of *Endogeic Earthworms*. *Biol. Fertil. Soils* 12 : 217 - 220.
- Scholes, M.C., M.J. Swift, O.W. Heal, P.A. Sanchez, J.S. Ingram and R. Dalal. 1994. Soil Fertility Research in Respons to the Demand for Sustainability, *In* Woomer, P.L. and M.J. Swift; (eds.) The Biological Management of Tropical Soil Fertility. John Wiley & Sons Pub. p: 1 – 15.

Subowo. 2002. Pemanfaatan Cacing Tanah (*Pheretina hupiensis*) untuk meningkatkan Produktivitas *Ultisol* Lahan Kering. Disertasi. Program Pasca Sarjana IPB, Bogor. 94 p.