



Proceeding International Seminar

Mitigation and Adaptation on Climate Change

Inna Muara Hotel Padang - Monday, March 11th 2013



Presented by :
Organizing Committee
Education of Geography Department
Sekolah Tinggi Keguruan dan Ilmu Pendidikan
(STKIP) PGRI SUMBAR

Cooperations :



Universiteit Utrecht

Bagong Pag-Asa
Foundation, Inc -
Phillipines

URGENSI PENJAGAAN KADAR KARBON DALAM TANAH DALAM RANGKA MITIGASI DAN ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM¹⁾

(The Importance Of Soil Organic Carbon Preservation
In Mitigation And Adaptation Of Climate Change)

Oleh :
Widiatmaka²⁾

¹⁾Disajikan pada International Seminar of Adaptation and Mitigation On Climate Change, Padang, 11 Maret 2013

²⁾Staf Pengajar, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fak. Pertanian dan Sekretaris Program Doktor, PS Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor

ABSTRACT

Soil organic carbon (SOC) holds a very important role in global C cycle, as it is the largest terrestrial C pool. Maintaining high level of organic carbon in soil plays an important role in offsetting greenhouse gas (GHG) emissions. In the other side, the decrease of soil organic carbon contents have been reported in cultivated and soils with dynamic landuse change due to population activities. This article is proposed to discover the dynamic of soil organic C pool change. The importance of soil carbon preservation will be discussed in the context of mitigation and adaptation of climate change. Several research result was given to illustrate the problem.

Key-word: Soil Organic Carbon, Landuse Change , Conservation Agriculture

A. Pendahuluan

Pemanasan global pada dasarnya merupakan fenomena peningkatan temperatur global karena efek rumah kaca (*greenhouse effect*) akibat meningkatnya kadar gas-gas seperti karbondioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitrousoksida (N₂O) dan chlorofluocarbon (CFC) di atmosfer. Gas-gas tersebut menyerap cahaya infra-merah yang dipantulkan balik oleh bumi dari matahari. Panas yang "terperangkap" ini selanjutnya menyebabkan peningkatan suhu bumi.

Gas CO₂ memberikan kontribusi yang paling besar terhadap efek rumah kaca ini. Jika dibitung dari konsentrasi di atmosfer, ditambah dengan kemampuan memanaskannya, maka CO₂ memberikan sumbangan sekitar 55%, metana 17%, nitrat oksida 7% dan gas lain termasuk chlorofluocarbon dan gas-gas lain asal industri, sebesar 21% (Robert, 2001).

Tanah merupakan salah satu tubuh alam yang dapat menjaga karbon agar tidak terlepas ke atmosfer, oleh karena itu tinjauan terhadap peranan tanah menjadi penting. Pada KTT Bumi di Johannesburg, deklarasi dari beberapa negara memberikan harapan akan dapat diimplementasikannya Protokol Kyoto pada tahun 2003. Dalam anggapan umum, reduksi emisi gas rumah kaca dari industri merupakan kebijakan yang paling dapat dianggap licistari untuk menurunkan akumulasi gas-gas ini di atmosfer. Meskipun demikian, dalam hal emisi CO₂, salah satu alternatif lain yang juga mungkin dilakukan adalah dengan menimbun selama beberapa waktu lamanya karbon organik dari biomassa dalam bentuk bahan organik tanah. Penimbunan karbon pada biomassa hutan (*Article 3.3.* dari Protocol Kyoto) telah menjadi subyek dari persetujuan internasional, dengan adanya kuota yang ketat yang harus diterapkan oleh berbagai negara. Upaya mendorong dan meningkatkan akumulasi bahan organik di dalam tanah melalui perbaikan pengelolaan penggunaan lahan dan praktis pertanian atau penghutanan merupakan alternatif lain yang juga dikemukakan (*Article 3.4.* Protocol Kyoto), yang telah diterima sebagai salah satu cara penerapan Protocol Kyoto. Berkaitan dengan alternatif ini, belum ada batasan

berapa jumlah yang harus diakumulasikan atau luasan lahan yang terimplikasi, disamping belum ada metoda yang telah didefinisikan secara jelas untuk verifikasi. Dalam rangka menerapkan Protocol Kyoto, hal yang juga penting untuk diketahui adalah bagaimana dan seberapa persis *pool* tanah ini dapat dikuantitatifkan serta kebijakan insentif yang bagaimana dapat mendorong peningkatan akumulasi karbon di dalam tanah.

B. Pentingnya Tanah Dan Sumberdaya Lahan Dalam Siklus Karbon

Di seluruh dunia, tanah mengandung kurang lebih 2.000 GT C-organik (Arrouays *et al.*, 2001), dalam luasan yang mencakup seluruh daratan di permukaan bumi ini. Jika dihitung stok karbon didalam tanah, saat ini, ada sejumlah. Jumlah ini masih jauh lebih besar daripada jumlah yang ditahan oleh vegetasi (hutan dan lain-lain), yang hanya sekitar 500 GT. Bahkan, CO_2 yang dilepas dari pembakaran bahan bakar fosil hanya sekitar 6.3 GT. Dengan jumlah yang sedemikian besar, adalah sangat berbahaya jika karbon di dalam tanah dibiarkan terlepas ke atmosfer, karena karbon di atmosfer sendiri hanya ada sebesar 750 GT. Dalam konteks ini, menjaga agar tanah tetap mengandung kadar karbon yang tinggi menjadi aspek yang teramat penting.

Dengan luasan daratan yang besar, peningkatan sedikit saja dari stok di dalam tanah, akan dapat memainkan peranan yang signifikan dalam mengurangi fluks gas rumah kaca ke atmosfer. Berbagai perbaikan dalam penggunaan lahan dan praktis produksi pertanian dapat memberikan sumbangan yang besar terhadap reduksi emisi rumah kaca, terutama dengan cara meningkatkan jumlah dan lamanya karbon organik berada di dalam tanah. Waktu tinggal (*residence time*) karbon pada bahan organik tanah bervariasi sangat besar, karena adanya variasi dalam mineralisasi karbon melalui mana kemudian karbon kembali ke udara. Dengan demikian, sangat penting untuk mengkalkulasikan potensi yang ada melalui *pool* tanah ini, melalui analisis penggunaan tanah maupun praktis pertanian diatasnya.

Dalam kurun dekade terakhir ini, mulai disadari perhatian yang besar dalam sekuestrasi karbon (*carbon sequestration*) sebagai salah satu cara untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Sekuestrasi karbon merupakan salah satu cara potensial berbiaya rendah yang dianjurkan untuk mengurangi konsentrasi atmosferik gas-gas rumah kaca. Protokol Kyoto yang diprakarsai oleh *United Nations Framework Convention on Climate Change* memberikan dorongan terhadap aspek-aspek sekuestrasi karbon. Jika diratifikasi, perjanjian ini mewajibkan negara-negara industri maju untuk mengurangi emisi gas-gas rumah kaca sebesar 6 – 8 % dibawah nilai emisi mereka pada tahun 1990, pada periode 2008 – 2012 (IPCC, 1997, a, b, c). Dalam konteks ini, penyimpanan karbon dengan cara tetap menjaga tingginya kadar bahan organik tanah memainkan peranan yang penting.

Tanah di seluruh dunia memiliki kapasitas yang luar biasa dalam penyimpanan karbon. Di Amerika Serikat, diperkirakan 100 juta ton karbon yang asalnya dari dalam tanah telah hilang disebabkan karena aktivitas manusia, terutama melalui praktik pengolahan tanah dan perubahan penggunaan lahan. Sebagian dari jumlah ini masih dapat dikembalikan kedalam tanah, melalui perbaikan proses-proses di dalam tanah. Dengan emisi karbon tahunan oleh aktivitas manusia sebesar 6 sampai 8 juta ton, jumlah ini berarti merupakan jumlah yang cukup besar. Karbon organik tanah (KOT) memainkan peranan yang sangat penting dalam siklus karbon global, karena dia merupakan *pole* karbon permukaan bumi yang paling besar. Tanah dapat berfungsi sebagai sumber (*source*)- (CO_2 , CH_4 dan N_2O) atau kuburan (*sink*) (CO_2 dan CH_4) dari berbagai gas rumah kaca, tergantung pada penggunaan lahan dan pengelolaannya (Lal, 2002).

Menurut Lal (2002), tanah di seluruh dunia mengandung kurang lebih 3.2 triliun ton karbon pada lapisan 6 feet teratas. Diperkirakan, sekitar 2.5 triliun ton adalah dalam bentuk karbon organik. Bahan organik membuat tanah menjadi subur. Sisanya, sebesar 0.7 triliun ton merupakan karbon an-organik. Jumlah tersebut merupakan jumlah yang besar. Pada kenyataannya, pool karbon tanah merupakan 4.2 kali dari seluruh pool karbon atmosferik dan 5.7 kali pool biotik. Dengan demikian, dengan penambahan sedikit saja karbon tanah yang dapat diambil dari udara, hal tersebut dapat merupakan pengurangan yang cukup signifikan bagi kadar

karbon atmosferik. Selain itu, karena tanaman mengkonsumsi karbon dioksida dari udara, salah satu cara pertama untuk menyimpan karbon di dalam tanah adalah dengan menanam tanaman. Perbaikan pertanian merupakan kunci untuk menyimpan karbon. Penyimpanan karbon di dalam tanah dapat disebut sebagai politik iklim “terbaik”.

Meskipun karbon organik tanah merupakan reservoir C terestrial yang terbesar, namun berapa tepatnya jumlah atau massanya sulit untuk ditetapkan (Batjes, 2000). Pendugaan berapa jumlah C organik di dalam tanah pada skala global bervariasi antara 700 dan 3.000 PgC (Eswaran, 1993). Pendugaan-pendugaan tersebut dapat didasarkan pada berbagai macam pendekatan, misalnya berdasarkan penggolongan kelas-kelas tanah, kelas-kelas vegetasi, peta tanah FAO/UNESCO, atau permodelan produksi atau dekomposisi tanaman. Pole karbon organik tanah global diperkirakan sebesar 1500 Pg (Eswaran *et al.*, 1993; Batjes, 2000), yang kurang lebih merupakan ekivalen dengan jumlah pole atmosferik sebesar 750 Pg dan pole biotik sebesar 600 Pg (Lal, 2002). Lal (2002) memberikan pendugaan konservatif pole C sebesar 2300 PgC, yang kurang lebih adalah 4.1 kali pole biotik dan kurang lebih 3 kali pole atmosferik.

Kadar C-organik dalam keadaan ekuilibrium di dalam tanah bervariasi, tergantung pada iklim, tipe tanah, jenis mineralogi, penggunaan lahan, dan pengelolaannya (Batjes, 2000, Banfield *et al.*, 2002). Untuk suatu tanah tertentu, sebagian besar bahan organik umumnya terakumulasi pada *topsoil*, terutama dibawah vegetasi tidak terganggu. Kehilangan bahan organik umumnya merupakan hal yang tidak diinginkan. Meskipun Balesdent (1996) menyatakan bahwa rendahnya kadar C tanah kadang-kadang juga dapat memberikan keuntungan yang tadinya tidak diharapkan bagi keperluan pertanian, seperti potensinya untuk mengurangi kehilangan bahan pestisida karena sorpsi tanah yang menjadi lebih rendah, namun dari sisi perubahan iklim global, penurunan karbon pada tanah dapat dianggap merupakan ancaman besar bagi keberlangsungan kehidupan dunia.

C. Hubungan Antara Kadar Karbon Organik Tanah Dengan Faktor Lingkungan

Hubungan antara kadar C organik tanah dengan faktor-faktor lingkungan telah banyak di-review. Paragraf ini hanya akan menyajikan sedikit ulasan, dalam tujuan untuk meletakkan konteks tulisan ini terhadap *state of the art* masalah ini secara aktual.

Kadar karbon organik secara khusus bersifat sensitif terhadap sejumlah faktor seperti iklim, topografi, tanah dan pengelolaan tanaman, serta kondisi antropogenik lainnya. Perubahan dalam hal iklim, kadar CO₂ atmosferik dan penggunaan lahan, dapat berpengaruh terhadap pole karbon di dalam tanah dan karena itu berpengaruh terhadap reservoir CO₂ atmosferik dan iklim bumi (Lal, 1999). Kuantifikasi hubungan antara karbon organik tanah dengan iklim, lokasi dan penggunaan lahan sangatlah penting untuk memformulasikan model proses siklus C (Paustian *et al.*, 1998) dan untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan lahan kedepan dan perubahan iklim terhadap perubahan karbon organik tanah.

Peranan variabel iklim terhadap dinamika karbon organik tanah telah secara luas dipelajari pada skala kecil. Umumnya, karbon organik tanah meningkat dengan meningkatnya curah hujan dan menurun dengan meningkatnya temperatur (Paustian *et al.*, 1998). Dalam penelitian oleh Phillipset *et al.* (1998) pada suatu tanah hutan, karbon organik tanah meningkat dengan meningkatnya rata-rata curah hujan tahunan. Johnston *et al.* (1996) melaporkan korelasi positif antara karbon organik tanah di horizon A dengan rata-rata curah hujan tahunan. Di padang rumput, karbon organik tanah berkorelasi positif dengan presipitasi tahunan dan berkorelasi negatif dengan temperatur rata-rata tahunan. Akan tetapi umumnya, keterkaitan yang rendah antara variabel iklim dan karbon organik tanah pada skala kontinental atau regional membuat prediksi perubahannya menjadi sulit (McKenzie *et al.*, 1999), terutama pada skala luas.

Sejumlah studi menemukan korelasi antara konsentrasi karbon organik dan beberapa faktor tanah seperti iklim dan spesies tanaman (Conant *et al.*, 2002), topografi (Gregorichet *et al.*, 1998), bahan induk, dan waktu (Lal, 2002). Akan tetapi, tidak semua faktor tersebut memiliki

kepentingan yang sama secara spasial, dan kepentingan relatifnya mungkin berbeda pada lingkungan yang berbeda. Tekstur tanah, terutama kadar liat, mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap sekuestrasi dan deplesi karbon organik tanah. Peranan tekstur tanah dalam sekuestrasi C yang pertama adalah pengaruhnya terhadap kecepatan pembentukan C pasif (Mikhailova *et al.*, 2000) dan kedua, dampaknya terhadap produksi dan dekomposisi melalui kontrol terhadap budget air melalui efeknya terhadap sifat hidrologik (Chaplot *et al.*, 2001). McKenzie *et. al.* (1999) menyimpulkan bahwa karbon organik tanah berkaitan erat dengan bahan induk, vegetasi alami dan gambaran topografis. Lereng dan ketinggian (*altitude*) berpengaruh terhadap karbon organik tanah dalam mengontrol kesetimbangan air tanah, erosi tanah dan proses deposisi geologik. Johnston(1973) yang menganalisa karbon organik tanah berbasis pedon di tiga lokasi yang berbeda mengamati bahwa penggunaan lahan berpengaruh terhadap karbon organik tanah dengan cara yang berbeda-beda untuk berbagai seri tanah pada Alfisols dan umumnya karbon organik tanah meningkat dengan meningkatnya kadar liat.

Sejauh ini, hubungan antara karbon organik tanah dan keragaman *site/lokasi* belum didokumentasikan secara baikuntuk berbagai ordo tanah dan sistem penggunaan lahan. Dalam konteks ini, studi ini diusulkan, salah satunya adalah untuk mengklarifikasi hubungan antara karbon organik tanah pada bagian permukaan teratas tanah mineral dengan berbagai keragaman *site/lokasi*, dan untuk mengidentifikasi signifikansi setiap variabel *site/lokasi* terhadap keragaman karbon organik tanah dalam setiap sistem penggunaan lahan di suatu wilayah dengan penggunaan intensif di Jawa Barat.

Karbon organik tanah yang merupakan salah satu dari sifat-sifat tanah yang penting untuk kesuburnanya, berubah dalam jarak pendek atau jauh. Keragamannya terpartisi didalam komponen-komponen keragaman yang sistematis, berasosiasi dengan faktor-faktor tanah lain yang dapat dipredksi maupun komponen faktor lingkungan lain. Informasi kuantitatif tentang keragaman sifat-sifat tanah lain atau faktor lingkungan diharapkan dapat memberikan pengetahuan lebih dalam mengenai faktor kausal distribusi karbon organik tanah dalam kaitannya dengan variabel lain (Walter *et al.*, 2003).

D. Hubungan Antara Penggunaan Lahan Dan Kadar Karbon Organik Tanah

Telah umum diketahui, bahwa berbagai cara dan metoda dalam pengelolaan tanah dapatmenyebabkan perubahan dalam konsentrasi C-organik. Kadar C pada tanah yang diusahakan dan yang diolah, umumnya (meskipun tidak selalu) lebih rendah dibandingkan dengan tanah yang tidak diusahakan, padang rumput, atau dibawah hutan (Lal, 2002). Menurunnya kadar C-organik di bawah pertanian intensif terjadi karena meningkatnya kehilangan topsoil melalui erosi, menurunnya pengembalian C-organik dari residu tanaman, dan meluruhnya bahan organik stabil (Ni *et al.*, 2002).

Penurunan kadar karbon organik tanah di bawah praktis pertanian intensif telah dilaporkan terjadi dalam beberapa penelitian (Walter *et al.*, 1997, Widiatmaka, et al., 2007). Meskipun belum dapat dibuktikan bahwa fenomena ini merupakan fenomena yang terjadi secara umum, namun kenyataan ini patut menjadi bahan pemikiran dalam manajemen kualitas tanah. Secara intuitif, pertanian memang cenderung untuk memanen dan mengoptimalkan produksi dan (mungkin) kurang memperhatikan apa yang dikembalikan kedalam tanah, sehingga penurunan kadar bahan organikterjadi dengan sendirinya, ketika suatu bentang lahan diusahakan untuk pertanian. Karena kecenderungan ini diperkirakan akan terus berlanjut. makapenekanan terhadap kebijakan penjagaan karbon organik tanah secara regional-kewilayahannya dirasa sangat penting (Balesdent, 1996). Dalam konteks inilah, kuantifikasi seberapa jauh penggunaan-penggunaan lahan yang berbeda-beda memberikan akibat terhadap penurunan karbon tanah, menjadi penting. Apabila data kuantitatif tersebut tersedia, skenario penggunaan lahan terbaik dan optimasi untuk berbagai penggunaan yang memang diperlukan dapat lebih diatur dalam konteks kelestarian lingkungan.

E. Tantangan Untuk Sumberdaya Lahan Di Indonesia

Tantangan seperti ini tidak dapat diabaikan untuk Indonesia dalam konteks global karena Indonesia merupakan salah satu negara agraris terbesar di dunia. Dalam konteks perubahan penggunaan lahan, sangat cepatnya perubahan penggunaan lahan di pulau Jawa merupakan contoh konkret yang perlu diteliti berkaitan dengan kapasitas akumulasi karbon pada penggunaan-penggunaan lahan yang berbeda.

Indonesia sendiri telah menandatangani Protocol Kyoto di New York pada 13 Juli 1998, dan merupakan negara penandatangan ke-45. Dalam konteks tersebut, upaya monitoring sejauh mana perubahan penggunaan lahan di lokasi-lokasi dengan penggunaan lahan intensif seperti Pulau Jawa sangatlah penting, sekaligus mencoba memperoleh angka kuantitatif untuk suatu luasan lahan dengan penggunaan tertentu.

Hasil penelitian Widiatmaka *et al.* (2012) dan Ardiansyah & Widiatmaka (2006) di wilayah Kabupaten Bogor menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan total luasan hutan dan sawah masing-masing hingga 24.975 ha dan 54.406 ha pada wilayah penelitian dari tahun 1989 hingga tahun 2006. Perubahan dalam penggunaan lahan telah menghasilkan kehilangan yang mengkhawatirkan terhadap ketersediaan karbon tanah pada wilayah penelitian. Secara rata-rata, konversi hutan dan sawah menjadi ladang dan lahan terbuka/permukiman di Kabupaten Bogor menurunkan total KOT 21,33 % dari $25,99 \times 10^6$ ton pada tahun 1989 menjadi $20,44 \times 10^6$ ton pada tahun 2006.

F. Prospek Penelitian Kedepan

Upaya monitoring dalam jangka panjang akan memerlukan biaya yang cukup mahal. Biaya monitoring yang mahal seperti ini dapat dikurangi, karena sebenarnya, data-data karbon organik didalam tanah di seluruh Indonesia tersedia sangat banyak, melalui hasil-hasil survai untuk berbagai tujuan yang telah dilakukan pada masa lalu. Setiap survai tanah selalu menyertakan analisis lengkap, termasuk di dalamnya analisis kadar karbon organik di dalam tanah. Pemanfaatan hasil-hasil survai terdahulu, dikonfrontasikan dengan data kadar karbon aktual yang diukur dengan beda waktu tertentu, dapat digunakan untuk menduga evolusi stok karbon di dalam tanah dalam kurun waktu tertentu tersebut. Pola evolusi ini, dihubungkan dengan dinamika perubahan penggunaan lahannya kemudian dapat digunakan untuk memprediksi evolusi stok karbon tanah dimasa mendatang dengan berbagai skenario perencanaan penggunaan lahan. Selanjutnya, skenario terbaik ditinjau dari sisi lingkungan kemudian dapat ditetapkan, yang dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam perencanaan penggunaan lahan ke depan.

Dalam rentang waktu 1970 – 1980, hasil-hasil analisis di banyak lokasi survai tersimpan dan belum termanfaatkan secara optimal. Banyak lokasi dengan perubahan penggunaan lahan yang sangat intensif, yang dapat dipilih untuk penelitian sebagai studi kasus. Apabila penelitian di lokasi-lokasi tersebut dapat berhasil dilaksanakan dengan baik, diharapkan penelitian serupa dapat dilakukan di lokasi lain dengan berbagai kondisi lingkungan fisik dan penggunaan lahannya masing-masing, agar kuantifikasi dinamika *pool* karbon tanah tropika seperti Indonesia dapat dilengkapi, dalam rangka, disatu fihak menjawab isu-isu internasional sehubungan dengan emisi rumah kaca, dan di lain fihak, menetapkan skenario penggunaan lahan yang optimal ditinjau dari sisi reduksi efek rumah kaca.

Kesimpulan

Dari siklus karbon global, diketahui bahwa tanah merupakan tubuh alam yang menyimpan cadangan karbon besar, terbesar kedua setelah lautan. Cadangan tersebut berada dalam bentuk karbon organik tanah. Karena itu, dalam konteks mitigasi dan adaptasi perubahan iklim, tubuh alam tanah sangat perlu diberikan konsiderasi yang cukup

Dalam kaitan dengan fungsi tanah sebagai sink dan *source* karbon, salah satu cara dalam adaptasi dan mitigasi perubahan iklim adalah dengan menjaga agar tanah tetap memiliki kadar karbon organik yang tinggi. Berbagai cara dan metoda dalam pengelolaan tanah dapat menyebabkan perubahan dalam konsentrasi Karbon-organik. Untuk itu, praktis pertanian konservasi menjadi hal yang kedepan perlu semakin di

Kadar karbon organik di dalam tanah secara khusus bersifat sensitif terhadap sejumlah faktor seperti iklim, topografi, sifa-sifat intrinsiktanah dan pengelolaan tanaman, serta kondisi antropogenik lainnya. Karena itu, penjagaan kadar karbon organik tanah yang tinggi untuk wilayah yang berbeda perlu ditempuh dengan mempertimbangkan sifat-sifat lokal spesifik tanah.

Perubahan kadar karbon organik tanah telah dilaporkan terjadi melalui perubahan tata guna lahan. Karena itu, pengaturan tata guna lahan yang bijaksana merupakan salah satu kunci dalam mitigasi perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, M., Widiatmaka. 2006. Changes In Soil Organic Carbon Related To Land Use Change During 2 Decades: A Case Study Of Bogor District, West Java Indonesia. *2nd GGRS Days: Global Change Issues in Developing and Emerging Countries, 4 – 6 October 2006, Göttingen, Germany*
- Arrouays, D., Deslais W., Badeau V. 2001. The carbon content of topsoil and its geographical distribution in France. *Soil use and Management 17*, 7-11
- Balesdent, J. 1996. Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols de France. *Etude et Gestion des sols 3 (4)*: 245.260.
- Batjes, N.H. 1999. Management options for reducing CO₂- concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil. *ISRIC. Wageningen, The Netherlands. 114 pp.*
- Chaplot, V., M. Bernoux, C. Walter, P. Curmi, U. Herpin. 2001. Soil carbon storage prediction in temperate hydromorphic soils using a morphologic index and digital elevation model. *Soil Sci. 166 (1)*: 48 – 60.
- Conant, R.T., K. Paustian. 2002. Spatial variability of soil organic carbon in grasslands: implications for detecting changes at different scales. *Environmental Pollution. 116 : S 127 – S 135*
- Eswaran, H., Van Den Berg, E., Reich, P. 1993. Organic carbon in soils of the world. *Soil Sci Soc Am. J 57*: 192.194.
- Gregorich, E.G., Greer, K.J., Anderson, D.W. , Liang, B.C. 1998. Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. *Soil & Tillage Research 47*: 291.302.
- IPCC. 1997a. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 1: Reporting Instructions. *Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- IPCC. 1997b. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2: Workbook. *Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- IPCC. 1997c. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 3: Reference Manual. *Intergovernmental Panel on Climate Change*
- Johnston, A.E. 1973. The effects of ley and arable cropping systems on the amounts of soil organic matter in the Rothamsted and Woburn Ley arable experiments. *Rothamsted Experimental Station. Annual Report for 1972 Part 2* 131.159.
- Lal, R. 1999. Global carbon pools and fluxes and the impact of agricultural intensification and judicious land use. pp 45.52, In: Prevention of land degradation, enhancement of carbon sequestration and conservation of biodiversity through land use change and sustainable

- land management with a focus on Latin America and the Caribbean. *World Soil Resources Report 86. FAO, Rome.*
- Lal, R. 2002. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. *Environmental Pollution. 116*: 353 – 362.
- McKenzie, N.J., P.J. Ryan. 1999. Spatial prediction of soil properties using environmental correlation. *Geoderma. 89* : 67 – 94.
- Mikhailova, E.A., R.B. Bryant, S.D. de Gloria, C.J. Post, I.V. Vassenev. 2000. Modelling soil organic matter dynamics after conversion of native grasslands to longterm continuous fallow using the CENTURY model. *Ecological Modelling. 132* : 247 – 257.
- Ni, J. 2002. Carbon in grasslands of China. *J. Arid Environments. 50* : 205 – 218.
- Paustian, K., Elliot, E.T., Killian K. 1998. Modeling soil carbon in relation to management and climate change in some agroecosystems in Central North America. pp. 459.471 in: Lal, R., Kimble, J., Levine, E., Stewart, B.A. (eds.). *Soil Processes and the Carbon Cycle. CRC Press. Boca Raton, FL.*
- Phillips, O.I., Malhi, V., Higuchi, N., Laurance, W.F., Nunez, P.V., Vasquez, R.M., Laurence, S.G., Ferreira, L.V., Stern, M., Bröwn, S., Grace, J. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forests: Evidence from long-term plots. *Science 282*: 439.442.
- Robert, M. 2002. Rapport sur les ressources en sols du monde: La Séquestration Du Carbone Dans Le Sol Pour Une Meilleure Gestion Des Terres. *Organisation Des Nations Unies Pour L'Alimentation Et L'agriculture. Rome, 2002*
- Walter, C., C. Schwartz, B. Claudot, T. Buedo, P. Aurousseau. 1997. Statistical review of the soil tests made in France from 1990 to 1994: statistical and cartographic descriptions of the cultivated topsoil horizon variability. *Etude et Gestion des Sols. 3* : 205 – 219.
- Walter, C., R.A. Viscara-Rossel, A.B. McBratney. 2003. Spatio-temporal simulationof the field-scale evolution of organic carbon over the landscape. *Soil Sci. Soc. Am. J. 67* : 1477 – 1486.
- Widiatmaka, M. Ardiansyah dan W. Ambarwulan. 2012. Perubahan Cadangan Karbon Organik Tanah dalam Konteks Perubahan Penggunaan Lahan Selama 2 Dekade: Studi Kasus Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat. *Globe: 14 (2): 170 – 177.*
- Widiatmaka. 2012. Urgensi Pengelolaan Sumberdaya Tanah Dan Lahan Dalam Praktek Pertanian Konservasi Dalam Konteks Mitigasi Perubahan Iklim. *Disampaikan pada Seminar Nasional Krisis Lingkungan Hidup Indonesia dan Kongres I Himpunan Alumni Pengelolaan Sumberdaya Alam & Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 15 September 2012.*



ISBN 978-602-14019-1-0



9 786021 401910