

This file has been cleaned of potential threats.

If you confirm that the file is coming from a trusted source, you can send the following SHA-256 hash value to your admin for the original file.

c9a03fe083e8f648344b131c34458271c4ff36eb80631c5a3edfa3671a19eadf

To view the reconstructed contents, please SCROLL DOWN to next page.

POTENSI SIMPANAN KARBON PADA JENIS TANAH Acrisols DAN Ferralsols DI HUTAN TANAMAN *Acacia mangium* Willd. DAN *Shorea leprosula* Miq. KABUPATEN BOGOR
(Potential Soil Carbon Stock of Acrisols and Ferralsols Soil Types Under *Acacia mangium* Willd. and *Shorea leprosula* Miq. Plantations in Bogor Regency)*

Oleh/By :

Harris Herman Siringoringo

Pusat Litbang Hutan dan Konservasi Alam

Jl. Gunung Batu No. 5 Po Box 165; Telp. 0251-633234, 7520067; Fax 0251-638111 Bogor

*) Diterima : 14 Juni 2007; Disetujui : 05 November 2007

ABSTRACT

*The main objective of this research is to examine the difference of cumulative soil carbon stocks content of Acrisols and Ferralsols soil types under the newly establishment of *Acacia mangium* Willd. and *Shorea leprosula* Miq., respectively, and under its respective baseline vegetation as well. In addition, this research also discusses the effect of clay content of these soils. The research was conducted in Maribaya and Ngasuh Ranger Districts, under management of Bogor Forest District, Unit III, State Forestry Enterprise of Indonesia, West Java and Banten. Climate conditions at the two locations were type B with annual rainfall 2,754 mm for Maribaya and 3,148 mm for Ngasuh. The results, in general, showed that the bulk densities at 0-100 cm soil depth of the Ferralsols were lower than those of the Acrisols; it ranged between 0.53 to 0.86 g/cc and 0.73 to 0.94 g/cc, respectively, and there were differences statistically at each of soil layers for 0 to 50 cm depth. Whereas the carbon content at the Ferralsols was generally almost 1.5-2 times higher than those at the Acrisols for 0 to 100 cm depth, ranging at 1.18- 6.07 % for Ferralsols and 0.88-4.03 % for Acrisols, and differed statistically at 0-30 cm depth. Meanwhile, clay content was higher at Ferralsols than that of Acrisols at 0-100 cm depth, and differed statistically by soil type, ranging at 78.6-87.6 % and 57.4-8.2 %, respectively. Soil bulk density of the Acrisols was effected by soil clay content, while soil carbon contents of Ferralsols and Acrisols generally were effected by their soil bulk densities. Soil carbon stock content of Ferralsols at the solum depth (0-30 cm) was higher than that of Acrisols and there was significant difference, those were 75.72 ton/ha dan 64.39 ton/ha, respectively. However, by increasing soil depth (more than 30 cm), the cumulative soil carbon stocks were almost the same. The soil carbon stock content of the Ferralsols is higher than that of the Acrisols in the solum (tillage layer).*

Key words: Soil type, plantations, carbon content, bulk density, clay content, cumulative soil carbon stock

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan informasi tentang perbedaan potensi simpanan karbon tanah kumulatif pada tipe tanah Acrisols dan Ferralsols pada tegakan hutan tanaman *Acacia mangium* Willd. dan *Shorea leprosula* Miq. yang baru ditanam dan vegetasi awalnya, secara berurutan. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh kadar liat dari masing-masing tipe tanah. Penelitian dilaksanakan di Resort Polisi Hutan (RPH) Maribaya dan RPH Ngasuh, yang merupakan wilayah kerja Kesatuan Pemangkuan Hutan (KPH) Bogor, Unit III Perum Perhutani, Jawa Barat dan Banten. Kondisi iklim pada lokasi penelitian di Maribaya dan Ngasuh termasuk tipe iklim B dan dengan rata-rata curah hujan tahunan sebesar 2.754 mm dan 3.148 mm secara berurutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerapatan tanah Ferralsols pada kedalaman 0-100 cm secara umum lebih rendah daripada tanah Acrisols, yaitu berkisar antara 0,53-0,86 g/cc dan 0,73-0,94 g/cc secara berurutan, dan secara statistik menunjukkan perbedaan pada setiap lapisan pada kedalaman 0-50 cm. Sementara kandungan karbon tanah Ferralsols hampir 1,5-2 kali lebih besar daripada tanah Acrisols, yaitu berkisar antara 1,18-6,07 % dan 0,88-4,03 % secara berurutan, dan secara statistik berbeda pada kedalaman 0-30 cm. Berdasarkan tipe tanah, kadar liat Ferralsols lebih tinggi daripada Acrisols pada kedalaman 0-100 cm, yaitu berkisar antara 78,6-87,6 % untuk Ferralsols dan 57,4-84,2 % untuk Acrisols. Kerapatan tanah pada Acrisols dikontrol lebih kuat oleh kadar liat tanahnya, sementara kandungan karbon pada tanah Ferralsols maupun Acrisols secara umum dikontrol oleh kerapatan tanah. Potensi simpanan karbon tanah Ferralsols lebih besar daripada Acrisols dan berbeda nyata pada kedalaman 0-30 cm, yaitu berturut-turut sebesar 74,72 ton/ha dan 64,39 ton/ha. Namun dengan bertambahnya kedalaman

tanah (lebih besar dari 30 cm), simpanan karbon tanah pada kedua tipe tanah relatif hampir sama. Potensi simpanan karbon tanah Ferralsols lebih besar daripada tanah Acrisols pada lapisan olah tanah (0-30 cm).

Kata kunci : Tipe tanah, tegakan hutan, karbon tanah, kerapatan tanah, kadar liat, simpanan karbon tanah kumulatif

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bahan organik tanah menyumbangkan simpanan karbon terbesar dalam ekosistem daratan dan memainkan peran penting dalam siklus karbon global (Stevens, 2006). Bahan organik tanah merupakan salah satu sumber gudang karbon (*reservoir*) terbesar yang mengalami pertukaran secara cepat dengan CO₂ atmosfer. Sebagai gudang penyimpanan karbon dalam ekosistem hutan, bahan organik tanah dipandang penting karena dapat berperan sebagai sumber emisi dan pengurang/rosot (*carbon sink*) yang potensial terhadap gas rumah kaca yang menjadi perhatian manusia sepanjang waktu (Schimel, 1995). Alih guna lahan dari vegetasi alam menjadi lahan pertanian dan kawasan pemanfaatan lain seperti industri, pemukiman, dan penggembalaan berlebihan, adalah penyebab utama terjadinya penguraian bahan organik tanah menjadi sumber emisi CO₂ atmosfer. Konversi fungsi lahan hutan serta sistem pengelolalaan yang tidak tepat telah mengakibatkan terlepasnya CO₂ ke atmosfer dalam jumlah yang sangat berarti, yaitu sebesar 40 hingga 537 miliar ton karbon dioksida (Lal, 2004). Di sisi lain, bahan organik dapat berperan sebagai *carbon sink* berawal dari fiksasi karbon atmosfer melalui proses fotosintesis pada tanaman/pohon dan merubahnya menjadi jaringan tanaman (biomasa). Ketika tanaman mati atau dipanen, maka bahan organik tanaman yang tersisa pada lahan, misalnya tunggul, akar, serasah, ranting, dan limbah kayu ditambahkan ke dalam tanah. Selanjutnya kegiatan fauna tanah terutama fungi dan komunitas mikroba menguraikan sebagian substrat/zat

tersebut untuk digunakan sebagai sumber energi dan merubah yang sebagian lagi menjadi senyawa organik yang lebih sukar lapuk (*resistant*), yaitu menjadi humus (Trumbore and Torn, 2003).

Kandungan karbon tanah bervariasi melintasi bentang lahan (*landscape*) dan terutama dipengaruhi iklim, tipe tanah, dan penggunaan lahan (Dadal and Meyer, 1986). Sementara laju penambatan karbon tanah (*soil carbon sequestration rate*) bervariasi berdasarkan tipe tanah dan sistem pengelolaan yang diterapkan pada tanaman (US EPA, 2006). Simpanan karbon dalam tanah sangat dipengaruhi oleh aktivitas penggunaan lahan. Misalnya, pembukaan lahan dan pengolahan lahan berpengaruh nyata terhadap hilangnya karbon tanah sehubungan dengan terjadinya peningkatan mineralisasi bahan organik (Lal, 1997; Rasmussen *et al.*, 1998; Whitebread *et al.*, 1998; Houghton and Hackler, 2000, dan Young *et al.*, 2005). Kandungan karbon tanah juga dipengaruhi oleh vegetasi di atasnya. Hasil penelitian Quideau *et al.* (1998) menunjukkan bahwa pada suatu lahan di mana bahan induk, waktu perkembangan tanah dan iklim yang sama, namun jumlah kandungan karbon yang tersimpan dalam tanah dapat bervariasi hingga beberapa kali lipat, tergantung pada jenis vegetasi.

Vegetasi mengontrol simpanan karbon dengan dua cara, yaitu mengontrol kemampuan produksi neto utama pada vegetasi (*the net primary productivity of vegetation*) dan mengontrol laju penguraian (*decomposibility*) bahan organik yang ditambahkan pada tanah. Laju produksi neto utama pada vegetasi akan menentukan laju pemasukan karbon terhadap bahan organik tanah. Oleh karena itu, pada lahan di mana laju penguraian

bahan organik relatif sama, maka lahan dengan vegetasi yang lebih produktif akan mempunyai simpanan karbon organik yang lebih tinggi. Hilangnya simpanan karbon akibat konversi padang rumput pada tanah hutan (*forest soil pasture*) atau tanah pertanian berkaitan erat dengan berkurangnya produktivitas suatu vegetasi (Trumbore and Torn, 2003). Laju penguraian terkait dengan jumlah lignin dan nitrogen yang ada dalam sisa tumbuh-tumbuhan (Melilo *et al.*, 1982). Lignin adalah suatu zat organik yang menutupi kerangka selulosa pada dinding sel tanaman, sukar larut, dan bersifat lebih *inert* (tidak bereaksi) secara kimiawi maupun biologi dibanding konstituen tanaman lainnya. Konsentrasi lignin bertambah dengan meningkatnya umur di dalam tanaman. Sedangkan zat/senyawa organik lain pada jaringan sisa tanaman seperti protein, lemak, karbohidrat, dan lainnya lebih mudah terdekomposisi, baik oleh jasad renik maupun organisme tanah yang lebih besar.

Hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Siringoringo *et al.* (2003) menunjukkan bahwa akumulasi karbon pada kawasan hutan tanaman *Acacia mangium* Willd. di Maribaya masing-masing pada plot kontrol sebesar 62,3 ton/ha dan pada plot tanaman 0 tahun sebesar 66,1 ton/ha pada kedalaman tanah 30 cm. Sementara hasil penelitian Siregar *et al.* (2003) menunjukkan bahwa akumulasi karbon pada kawasan hutan tanaman *Shorea leprosula* Miq. di Ngasuh masing-masing pada plot kontrol sebesar 73,8 ton/ha dan pada plot tanaman umur 0 tahun sebesar 75,7 ton/ha. Penelitian ini dimaksudkan untuk membandingkan simpanan karbon tanah pada kedua tipe tanah, yaitu Acrisols di Maribaya dan Ferralsols di Ngasuh.

B. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi tentang perbedaan potensi simpanan karbon tanah pada tipe tanah Acrisols dan Ferralsols masing-

masing di bawah tegakan hutan tanaman yang baru ditanam, yaitu *Acacia mangium* Willd. dan *Shorea leprosula* Miq. yang secara berurutan, serta masing-masing vegetasi awalnya. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh kadar liat pada kedua tipe tanah.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan informasi tentang potensi simpanan karbon tanah pada tipe tanah Acrisols maupun Ferralsols pada kawasan hutan tanaman dalam memberikan kontribusi pada sequestrasi karbon tanah (*soil carbon sequestration*) dan mitigasi pemanasan global.

II. METODOLOGI

A. Deskripsi Umum Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di kawasan hutan tanaman *A. mangium* di Resort Polisi Hutan (RPH) Maribaya (6°22'-6°25' LS, 106°27'-106°29' BT), Bagian Kesatuan Pemangkuan Hutan (BKPH) Parung Panjang dan kawasan hutan tanaman *S. leprosula* di RPH Ngasuh (6°33'-6°34' LS, 106°25'-106°26' BT), BKPH Jasinga. Kedua lokasi tersebut merupakan wilayah kerja Kesatuan Pemangkuan Hutan (KPH) Bogor, Perum Perhutani, Unit III Jawa Barat dan Banten.

Topografi lokasi penelitian RPH Maribaya dan RPH Ngasuh termasuk kategori datar (*undulating penepain*) dan bukit bergelombang (*rolling hills*) dengan kemiringan lereng $\pm 0^0$ dan $\pm 0^0-20^0$, dan ketinggian tempat 60 m dan 250 m di atas permukaan laut secara berurutan.

Pada sistem klasifikasi tanah yang lebih spesifik, tipe tanah pada kedua lokasi penelitian adalah Haplic Acrisols atau Typic Paleudult di Maribaya, Haplic Ferralsols atau Typic Hapludox di Ngasuh (Siringoringo *et al.*, 2003; Siregar *et al.*, 2003), berdasarkan pada FAO, ISRIC, ISSS (1998) atau *Soil Survey Staff* (1999). Haplic Acrisols dan Haplic Ferralsols keduanya berkembang dari batuan

endapan berumur Miocen yang bersifat masam (*acidic Miocene sedimentary rocks*).

Kondisi iklim kedua lokasi penelitian adalah tipe B dengan rata-rata curah hujan tahunan sebesar 2.754 mm di Maribaya dan 3.148 mm di Ngasuh. Data curah hujan tersebut merupakan rata-rata curah hujan selama lima tahun sejak tahun 1995 hingga 1999 yang tercatat di Stasiun Klimatologi Cikopomayan, Nanggung, Kecamatan Leuwiliang, Bogor.

B. Metode

1. Pembuatan Plot

Tabel 1 menjelaskan secara ringkas keberadaan setiap plot penarikan contoh (*sampling plots*) dan cara pengambilan contoh tanah. Pada setiap lokasi/tipe tanah terdiri dari dua plot penarikan contoh (*paired sampling plot*), yaitu plot hutan tanaman baru dan plot vegetasi awal/*baseline/control plot*/hutan sekunder muda. Plot berpasangan pada setiap lokasi ditentukan untuk membandingkan simpanan karbon tanah, termasuk kandungan karbon tanah, kerapatan tanah, dan kadar liat tanah antara plot hutan tanaman baru dan plot hutan sekunder muda yang terletak pada satu lahan yang berdekatan. Pengambilan contoh tanah tipe Acrisols

dilakukan pada masing-masing plot di bawah tegakan *A. mangium* yang baru ditanam (MB-O) dan vegetasi awalnya (MB-CP) yang didominasi oleh jenis *Schima wallichii* (DC.) Korth (puspa) di Maribaya. Sementara pengambilan contoh tanah tipe Ferralsols dilakukan pada plot di bawah tegakan *S. leprosula* yang baru (NS-O) ditanam dan vegetasi awalnya (NS-CP) yang didominasi oleh jenis *Maesopsis eminii* Engl. (kayu afrika) di Ngasuh.

Plot hutan tanaman pada setiap lokasi/tipe tanah Acrisols maupun Ferralsols (MB-0 dan NS-0) terdiri dari empat subplot (petak) yang masing-masing berukuran 30 m x 45 m, dan di dalam subplot ditentukan sebanyak sepuluh titik/tempat pengambilan contoh tanah. Sementara plot hutan sekunder muda (MB-CP dan NS-CP) terdiri dari 10 subplot yang masing-masing berukuran 10 m x 10 m, dan pada masing-masing subplot ditentukan sebanyak empat titik pengambilan contoh tanah yang terletak pada keempat sisi tengah bagian luar petak bujur sangkar. Letak setiap subplot pada kedua lokasi/tipe tanah ditentukan secara acak.

Penyiapan lahan pada kawasan hutan tanaman baru pada kedua lokasi penelitian dilaksanakan pada bulan Juni-Oktober tahun 2001. Penyiapan lahan dilakukan dengan cara penebangan vegetasi

Tabel (Table) 1. Deskripsi plot dan pola pengambilan contoh tanah di Maribaya dan Ngasuh, Bogor (*Plot description and soil sampling plot design in Maribaya and Ngasuh, Bogor*)

Tipe tanah (Soil type)	Plot	Luas kawasan (Stand area), (ha)	Ukuran subplot (Subplot size) (m)	Jumlah subplot (Number of subplots)	Jumlah titik pengambilan contoh tanah total (Total number of sampling points)	Vegetasi (Vegetation)	Pohon dominan (Dominant tree species)	Kerapatan pohon (Tree density), pohon/ha (tree/ha)
Acrisols (Maribaya)	MB-CP	10	10 x 10	10	40 (5) ¹⁾	Hutan sekunder muda	<i>Schima wallichii</i>	-
	MB-O	5	30 x 45	4	40 (5)	Hutan tanaman baru (umur 0 tahun)	<i>A. mangium</i>	1.667
Ferralsols (Ngasuh)	NS-CP	10	10 x 10	10	40 (5)	Hutan sekunder muda	<i>Maesopsis eminii</i>	-
	NS-O	5	30 x 45	4	40 (5)	Hutan tanaman baru (umur 0 tahun)	<i>S. leprosula</i>	1.667

Keterangan (Remarks) :

¹⁾ Jumlah titik pengambilan contoh tanah pada kedalaman 0-30 cm (0-100 cm). Yang kemudian termasuk di dalam yang sebelumnya. Contoh tanah diambil dari lapisan tanah pada interval kedalaman 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-50, 50-70, dan 70-100 cm (*Number of soil sampling points for 0-30cm (0-100cm). The latter is included in the former. Soil samples were collected from 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-50, 50-70, and 70-100 cm soil depth intervals.*)

(*slash land preparation*) yang berupa pohon dan belukar. Sementara penanaman pada kedua lokasi penelitian dilaksanakan pada bulan November-Desember 2001. Sedangkan pengambilan contoh tanah pada kedua lokasi penelitian dilakukan sekitar 0-1 bulan setelah penanaman.

2. Pengambilan Contoh Tanah di Lapangan

Contoh tanah diambil dari 40 titik pengambilan contoh tanah pada masing-masing plot hutan tanaman baru maupun hutan sekunder muda pada setiap lokasi pada kedalaman 0-30 cm dengan interval kedalaman 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, dan 20-30 cm. Sedangkan lima titik dari 40 titik pengambilan contoh tanah pada masing-masing plot hutan tanaman baru maupun hutan sekunder muda pada setiap lokasi, contoh tanah diambil pada kedalaman 0-100 cm dengan interval kedalaman 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-50 cm, 50-70 cm, dan 70-100 cm. Contoh tanah diambil secara berurutan mulai dari lapisan teratas hingga lapisan terbawah. Pengambilan contoh tanah dilakukan dengan menggunakan *ring* contoh berukuran 20 cm² x 5 cm (100 cc). *Ring* contoh tanah sebanyak empat buah pada setiap lapisan hingga kedalaman 0-70 cm, dan enam buah untuk kedalaman 70-100 cm. *Ring* tanah ditempatkan pada setiap lapisan tanah secara konsisten untuk mendapatkan contoh yang representatif pada setiap kedalaman. Contoh tanah pada setiap lapisan yang sama dikompositkan dan selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk analisis. Prosedur pengambilan contoh tanah yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan metode yang digambarkan oleh Hatori (2003).

3. Metode Penyiapan Contoh Tanah dan Analisis Karbon Tanah di Laboratorium

Contoh tanah dari dalam *ring* dikedir-udarkan kurang lebih selama 1-2 minggu hingga beratnya stabil dan potongan akar dibuang dari contoh tanah. Berat tanah kering udara seluruhnya (Wt)

ditimbang. Contoh tanah kering udara selanjutnya dihaluskan dengan menggunakan *willey mill* dan disaring dengan ayakan berukuran dua mm untuk memisahkan tanah halus (< 2 mm) dari bebatuan/*gravel* (> 2 mm). Berat bebatuan (Wg) ditimbang. Kerapatan tanah (BD) dan faktor kadar air tanah halus kering udara dihitung (*MFf, moisture factor fine soil*). Untuk pengukuran karbon tanah dan penentuan faktor kadar air tanah (*MFp, moisture factor powder soil*), sekitar 20 g contoh tanah halus kering udara dihaluskan kembali hingga menjadi bubuk halus dengan menggunakan *vibration mill*. Bobot kering tanah pada suhu 105⁰C ditentukan dengan menggunakan *oven*, dan karbon tanah total dianalisis dengan menggunakan *NC analyzer*.

C. Perhitungan

1. Kerapatan Tanah

Kerapatan tanah menurut Ohta (2001) dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$\text{Kerapatan tanah (g/cc)} = \frac{(W_t - W_g) \times (1 - MF_f)}{4 \times V_r \text{ (cc)}} \dots(1)$$

$$MF_f = \frac{(W_{v1} - W_{o1})}{W_f} \dots\dots\dots(2)$$

$$MF_p = \frac{(W_{v1} - W_{o1})}{W_p} \dots\dots\dots(3)$$

Di mana :

- Wt = berat total tanah kering udara (*total weight of air-dried soil*), (g)
- Wg = berat bebatuan (*weight of gravel*), (g)
- MFf = faktor kadar air tanah halus (*moisture factor of fine soil*)
- MFp = faktor kadar air tanah bubuk halus (*moisture factor of powder soil*)
- Vr = volume *ring* contoh
- Wf = berat tanah halus kering udara (*air dried fine soil weight*)
- Wp = berat tanah bubuk kering udara (*air dried powder soil weight*)
- Wv1 = berat wadah (*weight of vessel*) dan berat contoh tanah (*weight of soil sample*)
- Wo1 = berat tanah kering *oven* 105⁰C dan berat wadah (*weight of 105⁰C oven-dried soil and vessel*)

2. Simpanan Karbon Tanah

Simpanan karbon tanah kumulatif pada kedalaman 0-100 cm dihitung dengan menjumlahkan simpanan karbon pada setiap kedalaman lapisan tanah (0-5 cm,

5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-50 cm, 50-70 cm, dan 70-100 cm).

$$\begin{array}{l} \text{Simpanan} \\ \text{karbon} \\ \text{pada setiap} \\ \text{kedalaman} \\ \text{(ton/ha)} \end{array} = \frac{T(\text{cm}) \times \text{BD}(\text{g/cc}) \times \text{Cs}(\%)}{(1-\text{MFp})} \dots(4)$$

Di mana :

T = kedalaman (cm)

Cs = kandungan karbon tanah (%)

MFp = faktor kadar air tanah bubuk halus

3. Jumlah Contoh yang Dibutuhkan

Jumlah contoh tanah yang dibutuhkan (n) untuk menghasilkan pendugaan yang mempunyai taraf kepercayaan 95 % dan nilai kesalahan di bawah 5 % dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Boone *et al.*, 1999) :

$$n = t^2 C^2 / E^2 \dots\dots\dots(5)$$

Di mana :

n = jumlah contoh tanah yang dikumpulkan

t = t statistik *student* yang sesuai pada taraf kepercayaan dan jumlah contoh yang dikumpulkan

C = koefisien keragaman (%)

E = kesalahan yang dapat diterima sebagai bagian dari nilai rata-rata

D. Analisis Statistik

Analisis keragaman satu arah (ANOVA) dengan menggunakan *JMP Start Statistics* (Sall *et al.*, 2005) digunakan untuk membandingkan perbedaan kandungan karbon, kerapatan tanah, kadar liat, dan simpanan karbon tanah berdasarkan tipe dan plot. Uji beda jujur (*Honest Significant Difference*, HSD) Tukey-Kramer digunakan untuk membandingkan besarnya perbedaan nilai tengah variabel kandungan karbon, kerapatan tanah, kadar liat, dan simpanan karbon tanah pada masing-masing perlakuan (tipe tanah, plot, dan kedalaman).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kerapatan Tanah, Kandungan Karbon, dan Kadar Liat pada Dua Tipe Tanah

Tabel 2 merangkum nilai rata-rata (*mean*) dan simpangan baku (SD) kandungan karbon tanah, kerapatan tanah, serta kadar liat tanah dari tujuh kedalaman,

yaitu 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, dan 20-30 cm, 30-50 cm, 50-70 cm, dan 70-100 cm pada tipe tanah Acrisol di Maribaya dan tipe tanah Ferralsols di Ngasuh.

1. Kerapatan Tanah

Kerapatan tanah lebih rendah pada lapisan atas tanah dan lebih tinggi pada lapisan tanah yang lebih bawah pada kedua tipe tanah. Kerapatan tanah (Tabel 2) pada tanah Acrisols lebih padat (tinggi) daripada tanah Ferralsols, yaitu berturut-turut sebesar 0,73-0,94 g/cc dan 0,53-0,73 g/cc pada kedalaman 0-30 cm, serta 0,86-0,93 g/cc dan 0,76-0,86 g/cc pada kedalaman 30-100 cm. Berdasarkan analisis keragaman (Lampiran 1), kerapatan tanah pada kedalaman 0-30 cm bervariasi sangat nyata (ANOVA satu arah, $p < 0,0001$) dan pada kedalaman 30-100 cm bervariasi nyata (ANOVA satu arah, $p < 0,05$) di antara kedua tipe tanah. Kerapatan tanah yang relatif lebih rendah pada tanah Ferralsols dibandingkan dengan tanah Acrisol kemungkinan bertalian erat dengan kandungan karbon dan kadar liat yang relatif lebih tinggi, serta kemungkinan oksida-oksida pada agregat mikro terbentuk lebih baik pada tanah Ferralsols.

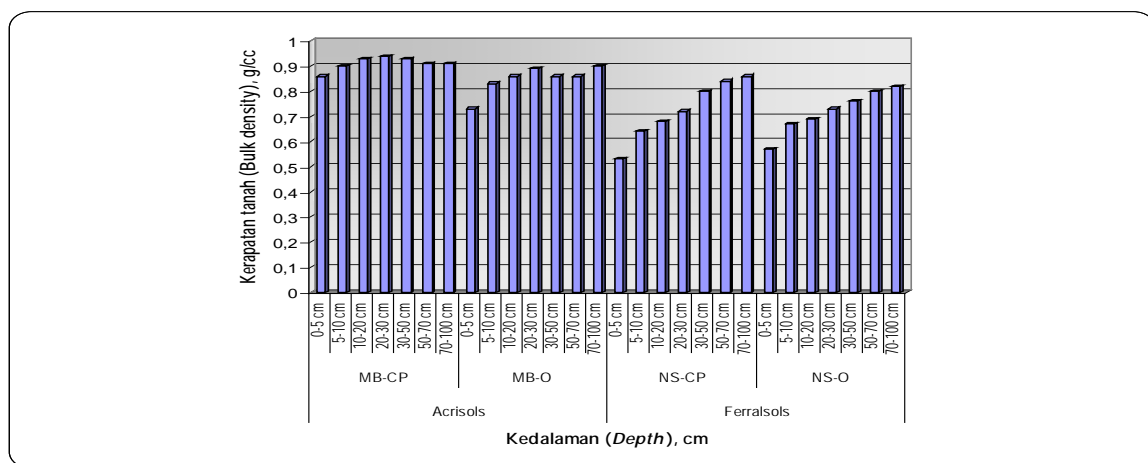
Kerapatan tanah berdasarkan plot pada kedua tipe tanah (Lampiran 2) menunjukkan perbedaan yang sangat nyata (ANOVA satu arah, $p < 0,0001$) pada kedalaman 0-30 cm, berbeda nyata pada kedalaman 30-50 cm, tetapi tidak berbeda nyata pada kedalaman 50-100 cm. Berdasarkan hasil uji HSD Tukey-Kramer terhadap kerapatan tanah pada Lampiran 3, perbandingan kerapatan tanah antara plot MB-CP dan MB-O pada tipe tanah Acrisols secara statistik menunjukkan perbedaan yang nyata pada kedalaman 0-30 cm, tetapi tidak berbeda nyata pada kedalaman 30-100 cm. Kerapatan tanah pada plot MB-CP lebih besar daripada plot MB-O, lebih besar daripada plot NS-O dan NS-CP pada setiap kedalaman. Sedangkan kerapatan tanah pada pasangan plot NS-CP dan plot NS-O pada tanah

Ferralsols tidak menunjukkan perbedaan yang nyata (ANOVA satu arah, $p > 0,05$). Perbandingan kerapatan tanah pada

kedua tipe tanah pada kedalaman berbeda diilustrasikan dalam diagram batang pada Gambar 1.

Tabel (Table) 2. Kerapatan tanah (BD), kandungan karbon tanah (C), dan kadar liat tanah pada setiap lapisan pada dua tipe tanah di Maribaya dan Ngasuh (*Bulk density, carbon content, and clay content in each layer of two soil types in Maribaya and Ngasuh*)

Soil (Site)	Plot (Plot)	Kedalaman (Depth), cm	N	Kerapatan tanah, BD (Bulk density), g/cc		Kandungan karbon, C (Carbon content), %		Liat (Clay), %	
				Rata-rata (Mean)	SD	Rata-rata (Mean)	SD	Rata-rata (Mean)	SD
Acrisols	MB-CP	0-5	40	0,86	0,09	3,37	0,55	70,8	5,3
		5-10	40	0,9	0,10	2,65	0,44	72,6	5,6
		10-20	40	0,93	0,08	2,16	0,44	70,4	4,6
		20-30	40	0,94	0,06	1,75	0,27	73,2	4,7
		30-50	40	0,93	0,06	1,47	0,22	80,0	5,1
		50-70	40	0,91	0,03	1,25	0,26	82,6	3,4
		70-100	40	0,91	0,06	0,88	0,26	84,2	3,7
	MB-O	0-5	40	0,73	0,09	4,03	0,84	57,4	10,3
		5-10	40	0,83	0,08	3,15	0,60	61,8	7,7
		10-20	40	0,86	0,10	2,45	0,54	60,0	8,3
		20-30	40	0,89	0,10	2,04	0,43	68,0	6,8
		30-50	40	0,86	0,08	1,82	0,38	72,4	5,0
		50-70	40	0,86	0,09	1,51	0,42	76,6	4,0
		70-100	40	0,90	0,09	1,43	0,52	74,4	14,2
Ferralsols	NS-CP	0-5	40	0,53	0,06	6,07	0,84	78,6	2,9
		5-10	40	0,64	0,05	4,6	0,78	79,4	2,2
		10-20	40	0,68	0,05	3,54	0,54	79,4	1,9
		20-30	40	0,72	0,05	2,7	0,41	81,2	3,6
		30-50	40	0,8	0,07	1,63	0,26	82,0	1,9
		50-70	40	0,84	0,07	1,42	0,21	81,6	1,9
		70-100	40	0,86	0,04	1,18	0,2	81,6	2,9
	NS-O	0-5	40	0,57	0,09	5,85	0,82	84,4	5,3
		5-10	40	0,67	0,08	4,30	0,68	84,2	3,9
		10-20	40	0,69	0,07	3,58	0,58	82,4	3,2
		20-30	40	0,73	0,06	2,83	0,47	85,0	4,3
		30-50	40	0,76	0,06	2,08	0,33	87,0	4,5
		50-70	40	0,8	0,03	1,61	0,17	87,2	3,7
		70-100	40	0,82	0,06	1,25	0,16	87,6	2,5



Gambar (Figure) 1. Perbandingan kerapatan tanah antara tipe tanah Acrisols Maribaya, Bogor dan Ferralsols Ngasuh, Bogor pada beberapa kedalaman yang berbeda (*Comparison of soil bulk density of Acrisols and Ferralsols among different depths in Maribaya and Ngasuh, Bogor, respectively*)

2. Kandungan Karbon Tanah

Kandungan karbon tanah lebih tinggi pada permukaan atas tanah dan lebih rendah pada lapisan yang lebih bawah (kebalikan kerapatan tanah) pada kedua tipe tanah. Kandungan karbon tipe tanah Ferralsols lebih tinggi daripada tipe tanah Acrisols pada permukaan tanah (0-30 cm), yakni masing-masing sebesar 2,7-6,07 % dan 1,75-4,03 % secara berurutan (Tabel 2). Kandungan karbon tanah pada tipe Ferralsols hampir 1,5-2 kali lebih besar daripada tipe Acrisols. Hasil analisis keragaman kandungan karbon tanah berdasarkan pada tipe (Acrisols dan Ferralsols) menunjukkan perbedaan yang nyata pada kedalaman 0-30 cm (ANOVA satu arah, $p < 0,0001$), tetapi tidak berbeda nyata pada kedalaman 30-100 cm (ANOVA satu arah, $p > 0,05$) pada kondisi iklim yang relatif sama (Lampiran 4). Sedangkan hasil analisis keragaman kandungan karbon tanah berdasarkan plot pada setiap kedalaman pada kedua tipe tanah menunjukkan perbedaan yang sangat nyata pada kedalaman 0-30 cm (ANOVA satu arah, $p < 0,0001$), berbeda nyata pada kedalaman 30-50 cm (ANOVA satu arah, $p < 0,05$), tetapi tidak berbeda nyata pada kedalaman 50-100 cm (Lampiran 5). Hasil uji HSD Tukey-Kramer terhadap kandungan karbon pada Lampiran 6 menunjukkan bahwa kandungan karbon pada plot MB-CP lebih kecil daripada plot MB-O dan berbeda nyata pada kedalaman 0-5 cm dan 5-10 cm, 20-30 cm, dan tidak berbeda nyata pada kedalaman 10-20 cm, 30-50 cm, 50-70 cm, dan 70-100 cm. Sedangkan kandungan karbon tanah pada plot NS-CP dan plot NS-O pada tipe Ferralsols tidak menunjukkan perbedaan yang nyata pada setiap kedalaman (ANOVA satu arah, $p > 0,05$). Perbandingan kandungan karbon pada kedua tipe tanah pada kedalaman berbeda diilustrasikan dalam diagram batang pada Gambar 2.

Hasil penelitian ini bertepatan dengan hasil penelitian sebelumnya (Sanchez *et al.*, 1982; Kimble *et al.*, 1990) yang mana

menunjukkan bahwa kandungan karbon tanah pada tanah Acrisols (Ultisols) di Maribaya lebih rendah daripada tanah Ferralsols (Oxisols) di Ngasuh pada kondisi regim kelembaban tanah *udic* (bagian horizon kontrol tanah tidak pernah kering selama kurun waktu lebih dari tiga bulan sepanjang tahun). Faktor-faktor yang mengendalikan retensi karbon di dalam tanah meliputi suhu, kelembaban, tekstur liat, agregasi, muatan permukaan tanah yang bervariasi (*variable-surface charges*), dan status awal tanah, sebagaimana halnya dengan kualitas dan kuantitas dari percampuran tanah yang merata (*assimilates*) yang terdistribusi di bawah tanah (Oades, 1988).

Tanah Ferralsols dianggap dapat memfiksasi dan menstabilkan lebih banyak bahan organik tanah dibanding tanah Acrisols, karena kadar liat tanah Ferralsols lebih tinggi, yang mana membentuk senyawa kompleks organik-mineral (*organo-mineral-complexes*) yang lebih tahan terhadap proses mineralisasi dan penguraian daripada bila tidak tercampur dengan bahan organik (Sanchez, 1976), sehingga menghasilkan kandungan karbon yang lebih tinggi.

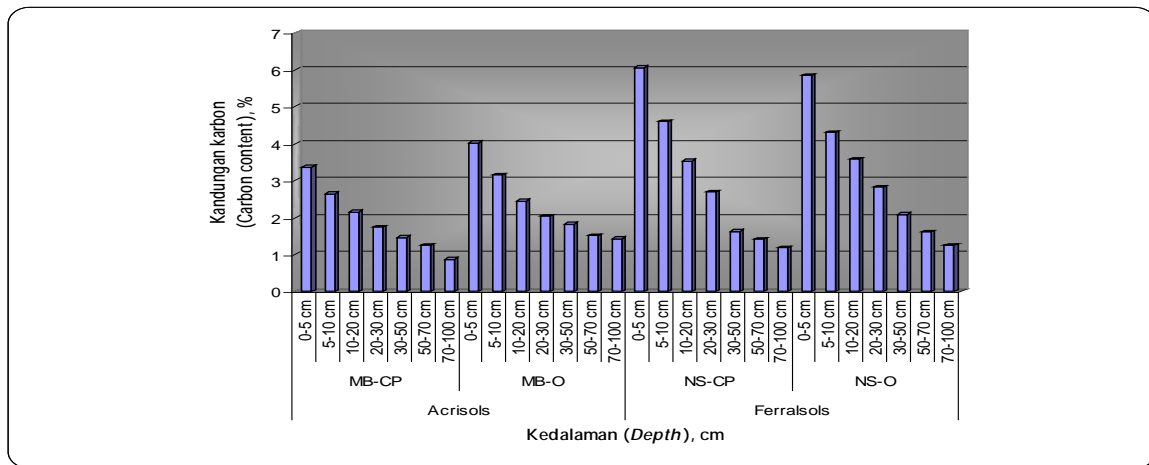
3. Kadar Liat Tanah

Berdasarkan Tabel 2, kadar liat pada tipe Ferralsols lebih tinggi daripada tipe tanah Acrisols pada kedalaman 0-100 cm, yakni masing-masing sebesar 78,6-87,6 % dan 57,4-84,2 %, secara berurutan. Hasil analisis keragaman kandungan liat berdasarkan tipe tanah dan plot pada kedalaman 0-100 cm masing-masing pada Lampiran 7 dan Lampiran 8 secara berurutan menunjukkan perbedaan yang nyata (ANOVA satu arah, $p < 0,0001$). Sementara berdasarkan hasil uji HSD Tukey-Kramer terhadap kadar liat pada Lampiran 9, perbandingan kadar liat pada tanah Acrisols antara pasangan plot hutan tanaman *A. mangium* yang baru ditanam (MB-O) dan plot vegetasi awalnya (MB-CP) menunjukkan perbedaan yang nyata, dan kadar liat pada plot MB-CP lebih

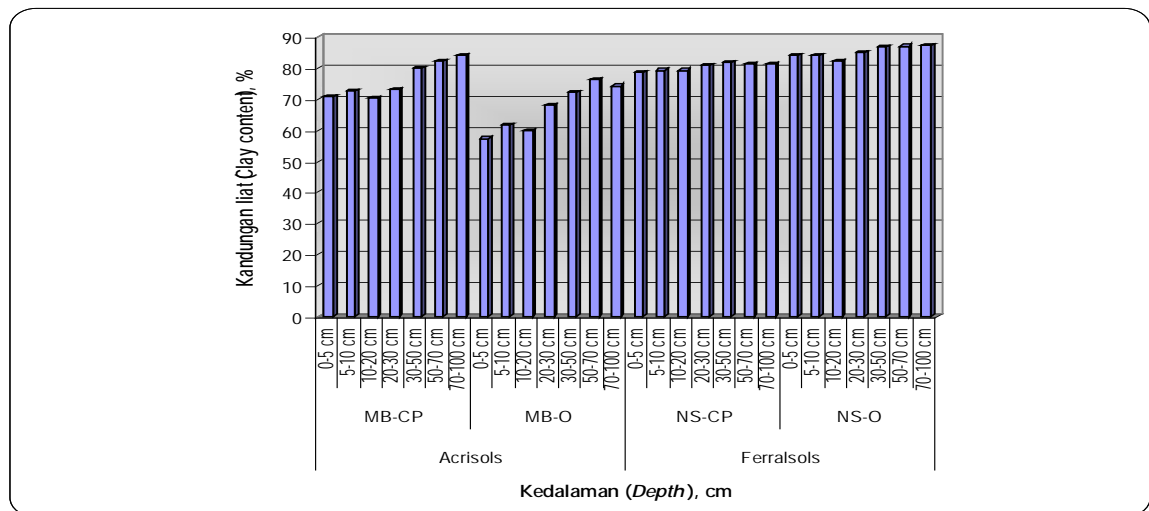
tinggi daripada plot MB-O. Sedangkan perbandingan kadar liat pada tanah Ferralsols antara pasangan plot hutan tanaman *S. loproso* (NS-O) dan plot vegetasi awalnya (NS-CP) tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Perbandingan kadar liat pada kedua tipe tanah pada kedalaman berbeda diilustrasikan dalam diagram batang pada Gambar 3.

Perbedaan kadar liat tanah antara Ferralsols dan Acrisols berkaitan erat dengan proses-proses pembentukan tanah/pedogenik (Bear, 1964; FAO, 2006). Tanah Ferralsols, dikonotasikan sebagai tanah-

tanah tropika basah yang berwarna kuning dan merah dengan kandungan sesquioksida (Al_2O_3 dan Fe_2O_3) yang tinggi, terbentuk dari bahan-bahan mineral yang sangat terlapuk (*strongly weathered*) pada bentuk wilayah (geomorfik) yang stabil dan tua, sebagian besar terbentuk dari batuan bersifat basa (alkalin) dan hanya sebagian kecil terbentuk dari batuan silikat (masam). Pelapukan yang intensif hingga horizon-horizon bawah menghasilkan suatu kandungan residu mineral-



Gambar (Figure) 2. Perbandingan kandungan karbon tanah antara tipe tanah Acrisols Maribaya, Bogor dan Ferralsols Ngasuh, Bogor pada beberapa kedalaman yang berbeda (Comparison of soil carbon contents of Acrisols and Ferralsols soil types among different depths in Maribaya and Ngasuh, Bogor, respectively)



Gambar (Figure) 3. Perbandingan kadar liat tanah antara tipe tanah Acrisols Maribaya, Bogor dan Ferralsols Ngasuh, Bogor pada beberapa kedalaman yang berbeda (Comparison of soil clay

contents of Acrisols and Ferralsols soil types among different depths in Maribaya and Ngasuh, Bogor, respectively)

mineral primer yang resisten/tidak terlapuk lebih lanjut (misalnya, kuarsa) di samping mineral-mineral sesquiodksida dan kaolinit (FAO, 2006). Dominasi mineral-mineral sesquiodksida berupa oksida-oksida besi (Fe), yakni goethit dan hematit menyebabkan struktur tanah lebih mudah terbentuk pada tanah Ferralsols (Bear, 1964). Sedangkan tanah Acrisols dikonotasikan sebagai tanah-tanah yang mempunyai kandungan liat yang lebih tinggi pada *subsoil* daripada *topsoil* sebagai hasil dari proses-proses pedogenik (utamanya migrasi liat) yang menimbulkan suatu horizon "argic", horizon pada *subsoil* yang mempunyai tekstur lempung berpasir atau tekstur yang lebih halus dan mempunyai minimal 8 % liat pada fraksi halusnya, kandungan liat total lebih besar daripada horizon dengan tekstur yang lebih kasar pada lapisan atasnya, dan peningkatan kadar liat tersebut relatif mencolok bila dibandingkan dengan lapisan atasnya pada jarak vertikal 30 cm jika horizon argic terbentuk oleh proses iluviasi (penimbunan) liat atau paling tidak dalam jarak vertikal 15 cm (FAO, 2006). Bahan induk tanah Acrisols biasanya berupa batuan bersifat masam dan batuan endapan liat yang telah mengalami pelapukan lebih lanjut. Kadar liat pada tanah Acrisols mengalami suatu diferensiasi berdasarkan horizon dan disertai eluviasi (perpindahan/pencucian) basa-basa ke horizon yang lebih bawah (FAO, 2006).

Kandungan fraksi liat yang rata-rata relatif lebih tinggi pada tipe tanah Ferralsols dibandingkan dengan tipe tanah Acrisols pada setiap kedalaman disebabkan oleh tingkat intensitas pelapukan fisik/mekanik yang terjadi relatif lebih tinggi pada tanah Ferralsols (FAO, 2006). Intensitas pelapukan fisik bahan induk yang lebih lanjut pada Ferralsols dihasilkan fraksi mineral yang lebih halus, yaitu liat, yang lebih dominan daripada fraksi yang lebih kasar (pasir dan debu), sehingga ka-

dar fraksi liat pada massa tanah akan menjadi lebih tinggi. Sedangkan pada kondisi intensitas pelapukan fisik bahan induk tanah yang relatif sedikit lebih rendah pada Acrisols yang kemungkinan besar sebagai akibat faktor intensitas iklim yang relatif lebih rendah (2.754 mm/tahun pada Acrisols di Maribaya dan 3.148 mm/tahun pada Ferralsols di Ngasuh) dan faktor bahan induk yang berbeda, maka pembentukan fraksi berukuran yang lebih kasar akan lebih dominan.

Selain itu, keragaman kadar liat pada suatu tipe tanah yang sama dapat berbeda tergantung antara lain pada letak suatu horizon dari bahan induknya, komposisi kimia keseluruhan massa tanah, intensitas transformasi bahan induk menjadi tanah. Sementara faktor eksternal yang berpengaruh terhadap besar-kecilnya kadar liat tanah adalah intensitas iklim, yaitu temperatur dan curah hujan (Bear, 1964). Pada intensitas iklim yang lebih rendah, proses-proses pedogenik berlangsung lebih lambat, dan sebaliknya. Hasil penelitian Dadal dan Meyer (1986) pada daerah tropis Australia, peningkatan kadar liat menyebabkan terjadinya penurunan kecepatan hilangnya karbon organik tanah secara eksponensial. Di samping itu, pembentukan agregat tanah yang berkaitan erat dengan keberadaan fraksi mineral liat di dalam tanah dapat mereduksi laju hilang karbon tanah karena suplai karbon pada tanah akan tersimpan di dalam ruang pori tanah.

B. Korelasi antara Parameter Kerapatan Tanah, Kandungan Tanah, dan Kadar Liat

Keeratan hubungan antara parameter kerapatan tanah, kandungan karbon, dan kandungan liat pada tanah Acrisols maupun tanah Ferralsols dapat diketahui berdasarkan nilai koefisien korelasinya. Perbandingan nilai koefisien korelasi (r) digunakan untuk mengetahui tingkat keeratan hubungan antara parameter yang satu terhadap parameter yang lainnya pa-

da masing-masing tipe tanah. Korelasi antara dua parameter pada masing-masing tipe tanah pada Tabel 3 menunjukkan nilai koefisien korelasi yang berbeda.

Tabel (Table) 3. Matriks korelasi antara kandungan karbon (C), kerapatan tanah (BD), dan kandungan liat pada kedalaman 0-30 cm pada tipe tanah Acrisols Maribaya, Bogor dan Ferralsols Ngasuh, Bogor (*Matrix of correlation among carbon content (C), bulk density (BD), and clay content at soil type of Acrisols and Ferralsols for the top 0-30 cm soils in Maribaya and Ngasuh, Bogor, respectively*)

Tipe tanah (<i>Soils type</i>)	Korelasi antara dua parameter pada kedalaman 0-30 cm ¹⁾ (<i>Correlation between two parameters at 0-30 cm depth</i>)		
	BD dan C	BD dan Liat	C dan Liat
Acrisols	-0,899 *	0,838 *	- 0,590
Ferralsols	- 0,980 *	0,328	- 0,207

Keterangan (*Remark*) : ¹⁾ Korelasi Pearson (*Pearson's correlation*) (Minitab Software, 2000)

* Menunjukkan perbedaan nyata, $p < 0,05$ (*Indicating a significant difference, $p < 0.05$*)

Korelasi negatif yang berpengaruh nyata ($p < 0,05$) antara kerapatan tanah (BD) dan kandungan karbon (C) pada kedua tipe tanah menghasilkan nilai r yang relatif sedikit lebih tinggi pada tanah Ferralsols (0,980) daripada Acrisols (0,899). Hal ini menunjukkan bahwa keeratan hubungan antara kerapatan tanah dan kandungan karbon pada tanah Ferralsols relatif lebih baik daripada tanah Acrisols.

Gambar 4 mengilustrasikan korelasi negatif antara kerapatan tanah dan kandungan karbon pada kedua tipe tanah. Korelasi negatif antara kerapatan tanah dan kandungan karbon menyatakan bahwa semakin rendah kerapatan tanah, kandungan karbon tanah semakin tinggi. Pada kondisi kerapatan tanah yang menurun atau porositas tanah semakin meningkat, bahan organik yang ditambahkan pada tanah akan tersimpan di antara ruang-ruang pori tanah secara lebih baik. Korelasi antara kerapatan tanah dan kandungan karbon pada masing-masing tipe tanah berada pada kisaran tertentu dan melingkupi daerah yang jelas pada *scattergram*. Keeratan hubungan antara kerapatan tanah dan kandungan karbon yang relatif sedikit lebih tinggi pada tanah Ferralsols dibanding dengan tanah Acrisols disebabkan oleh proporsi ruang pori yang lebih besar pada Ferralsols dibandingkan dengan Acrisols, sehingga kenaikan porositas tanah (kerapatan tanah menurun) searah dengan peningkatan karbon organik pada tanah Ferralsols.

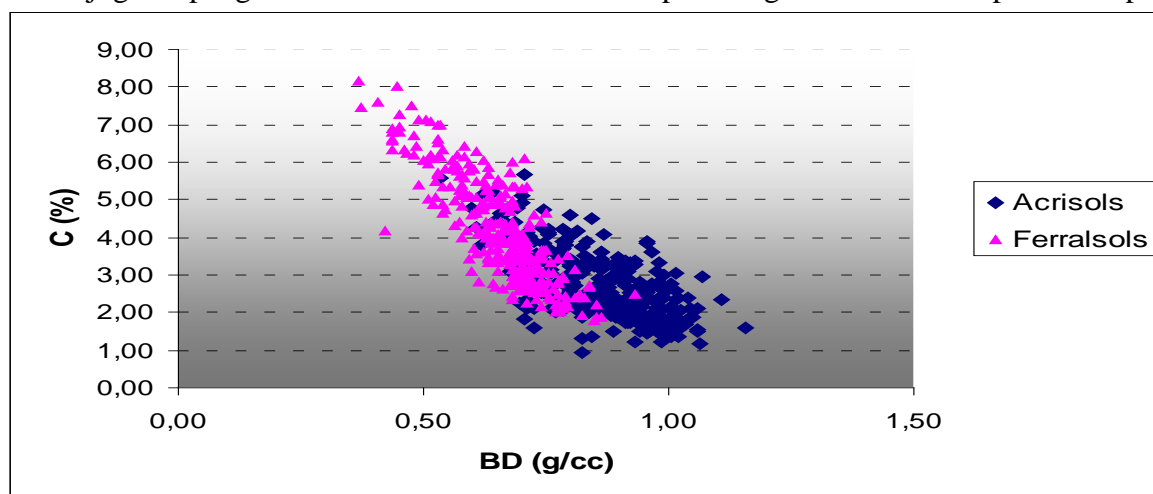
Dalam penelitian ini ditemukan kore-

lasi positif yang berpengaruh nyata ($p < 0,05$) antara kerapatan tanah dan kandungan liat pada tanah Acrisols dengan nilai r sebesar 0,838, sedangkan pada tanah Ferralsols ditemukan korelasi positif yang tidak berpengaruh nyata dengan nilai r relatif jauh lebih kecil, yaitu sebesar 0,328. Data tersebut menunjukkan bahwa keeratan hubungan antara kerapatan massa tanah dan kadar liat pada tanah Acrisols relatif sangat baik bila dibandingkan dengan tanah Ferralsols.

Pada tanah Ferralsols (kadar liat lebih tinggi dan kerapatan tanah lebih rendah daripada tanah Acrisols) pembentukan agregat mikro (agregasi mikro) lebih intensif dan stabil (FAO, 2006) yang selanjutnya akan berimplikasi pada pembentukan agregat makro yang stabil, yang mana pada akhirnya akan terbentuk suatu struktur tanah yang lebih kuat yang berukuran sedang/medium hingga besar/kasar (*coarse*). Pembentukan agregat stabil (makro maupun mikro) pada tanah Ferralsols dipengaruhi oleh faktor jenis mineral liatnya, yaitu geothit (warna kuning) dan hematit (warna merah) yang mana konsentrasi Fe_2O_3 dapat mencapai 20-80 % (Bear, 1964). Berdasarkan analisis distribusi ukuran butir partikel massa tanah (*mechanical analysis*), tanah Ferralsols lebih terlapuk secara fisik/mekanik dibanding dengan tanah Acrisols yang ditunjukkan pada fraksi mineral liat Ferralsols relatif lebih tinggi dari Acrisol pada Tabel 2. Di samping itu, pembentukan struktur tanah yang stabil yang

menghasilkan ruang-ruang pori di dalam tanah juga dipengaruhi oleh intensitas

aktivitas jasad renik di dalam tanah yang dapat beragam dari satu tempat ke tempat



Gambar (Figure) 4. Keeratan hubungan antara kerapatan tanah dan kandungan karbon (C) pada dua tipe tanah (*Relationship between soil bulk density and carbon content of two soil types*)

yang lain. Keadaan tersebut akan memungkinkan pembentukan porositas tanah atau kerapatan tanah yang lebih heterogen pada satu bentang lahan (*landscape*). Pengaruh faktor kadar Fe_2O_3 dan keheterogenan jasad renik kemungkinan besar akan menghasilkan heterogenitas ruang pori total yang tinggi pada tanah Ferralsols, sehingga korelasi antara kerapatan tanah dan kadar liat cenderung tidak beraturan pada tanah Ferralsols yang mana ditunjukkan dengan nilai koefisien korelasi (r) yang relatif kecil, yaitu $r = 0,328$.

Sedangkan pada tanah Acrisols (kadar liat lebih rendah dan kerapatan tanah lebih tinggi daripada tanah Ferralsols), walaupun secara mekanik relatif kurang terlapuk yang ditunjukkan dengan fraksi kadar liatnya yang relatif lebih rendah bila dibandingkan dengan Ferralsols, namun secara mineralogi (kimiawi) fraksi liatnya lebih terlapuk sempurna yang ditunjukkan oleh dominasi mineral-mineral liat jenis-jenis kaolinit, haloisit, dan vermikulit yang mana relatif lebih sukar membentuk agregat struktur tanah (Bear, 1964) atau struktur tanah lebih bersifat masif (pejal). Pada kondisi demikian korelasi antara kerapatan tanah dan kadar liat menjadi tinggi yang mana ditunjukkan

dengan nilai r yang jauh lebih besar, yaitu $r = 0,838$. Ini menunjukkan bahwa kondisi porositas tanah relatif sangat bersifat beraturan (*reguler*) dari satu tempat ke tempat yang lain pada tanah Acrisols. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa kerapatan tanah pada Acrisols lebih dikontrol oleh faktor kadar liat tanahnya.

Selanjutnya berdasarkan Tabel 2 pada tipe tanah Acrisols di Maribaya, kandungan liat dan kerapatan tanah pada plot MB-CP lebih tinggi daripada plot MB-O pada setiap kedalaman. Hal ini mengindikasikan bahwa kandungan liat yang lebih tinggi di plot MB-CP (vegetasi awal/hutan sekunder muda) daripada MB-O (lahan yang baru ditanam) berpengaruh positif terhadap kerapatan tanah yang lebih tinggi di MB-CP daripada MB-O, dan bukan karena kemungkinan faktor pengaruh penyiapan lahan yang terjadi di MB-O yang mana seharusnya terjadi peningkatan terhadap kerapatan tanah. Keeratan hubungan yang hampir sama antara kerapatan tanah dan kandungan liat telah pernah dilaporkan oleh Ohta and Effendi (1992) pada tanah Ultisols (Acrisols/Podsolik) pada hutan primer di Kalimantan Timur.

Korelasi negatif antara kandungan karbon tanah dan liat menghasilkan nilai

r yang lebih tinggi pada tanah Acrisols (0,590) daripada Ferralsols (0,207). Nilai koefisien korelasi yang negatif antara kandungan karbon dan liat lebih ditunjukkan pada korelasi negatif berdasarkan kedalaman tanah pada kedua tipe tanah. Pada tanah Acrisols maupun Ferralsols, berdasarkan Tabel 2, secara umum kandungan karbon lebih tinggi pada permukaan atas tanah dan lebih rendah pada lapisan tanah yang lebih bawah, sebaliknya kandungan liat dan kerapatan tanah lebih rendah pada permukaan atas tanah dan lebih tinggi pada lapisan tanah yang lebih bawah. Tanah Acrisol mempunyai kandungan liat yang lebih tinggi pada *subsoil* daripada *topsoil* sebagai hasil dari proses-proses pedogenik (utamanya migrasi liat) yang menimbulkan suatu horizon "argic" (FAO, 2006). Lebih lemahnya hubungan antara kandungan karbon dan liat pada tanah Ferralsols lebih disebabkan kuatnya hubungan antara kerapatan tanah dan kandungan karbon pada tanah Ferralsols.

Oleh karena itu, berdasarkan keeratan hubungan (nilai koefisien korelasi) antara kerapatan tanah dan kadar liat tanah Acrisols ($r = 0,838$) yang jauh lebih baik daripada tanah Ferralsols ($r = 0,328$) serta keeratan hubungan antara kerapatan tanah dan kandungan karbon pada tanah Ferralsols ($r = 0,980$) yang tinggi dan relatif hampir sama dengan tanah Acrisols ($r = 0,899$) maka dapat dinyatakan bahwa tinggi-rendahnya kerapatan tanah pada Acrisols lebih dipengaruhi oleh faktor kadar liat tanahnya, sementara kandungan karbon pada tanah Ferralsols maupun Acrisols secara umum dipengaruhi oleh kerapatan tanah.

Sementara, pada tanah Acrisols, kandungan karbon yang lebih tinggi pada plot MB-O daripada plot MB-CP dikaitkan sebagai bagian dari perbedaan kandungan liat dan kerapatan tanah yang lebih rendah pada MB-O. Pada permukaan atas tanah (0-30 cm), kerapatan tanah (BD) dan kandungan liat lebih rendah dan kandungan karbon lebih tinggi

pada plot MB-O (BD sebesar 0,73-0,86 g/cc, kandungan liat sebesar 57,4-68,0 %, dan C sebesar 2,04-4,03 %) daripada plot MB-CP (BD sebesar 0,86-0,94 g/cc, kandungan liat sebesar 70,8-72,6 %, dan C sebesar 1,75-3,37 %). Bahkan pada kedalaman tanah yang lebih bawah (30-100 cm), kerapatan tanah dan kandungan liat lebih rendah dan kandungan karbon tanah lebih tinggi pada plot MB-O (BD sebesar 0,86-0,90 g/cc, kandungan liat sebesar 72,4-76,6 %, dan C sebesar 1,43-1,82 %) daripada plot MB-CP (BD sebesar 0,91-0,93 g/cc, kandungan liat sebesar 80,0-84,2 %, dan C sebesar 0,88-1,47 %). Hal yang logis menganggap bahwa pengaruh penyiapan lahan tidak meluas hingga kedalaman 30-100 cm, dan oleh karena itu hasil ini menyatakan bahwa perbedaan antara plot MB-CP dan Plot MB-0 tidak disebabkan oleh faktor penyiapan lahan, tetapi dipengaruhi oleh sifat yang melekat (*inherent properties*) pada suatu lahan, termasuk perbedaan kandungan liat.

C. Simpanan Karbon Tanah

Tabel 4 merangkum nilai rata-rata, simpangan baku, dan koefisien keragaman simpanan karbon kumulatif, serta jumlah contoh yang dibutuhkan untuk mendapatkan nilai rata-rata simpanan karbon kumulatif dengan kesalahan 5 % dengan tingkat kepercayaan 95 % pada kedalaman tertentu pada setiap plot pada kedua tipe tanah.

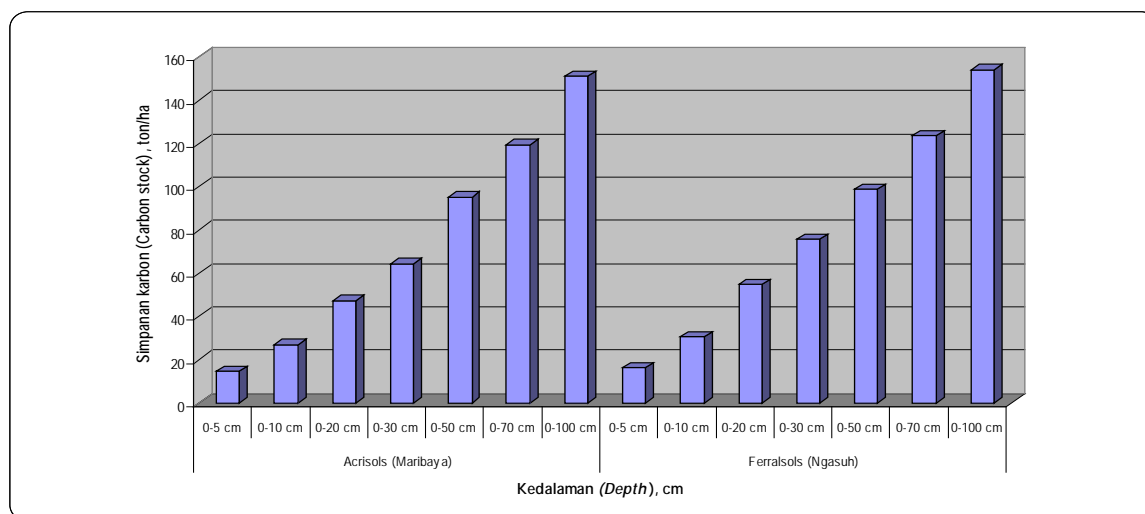
Untuk mengetahui perbedaan simpanan karbon di antara kedua tipe tanah, data simpanan karbon kumulatif pada plot hutan tanaman baru dan plot vegetasi awalnya pada setiap tipe tanah digabungkan. Berdasarkan data pada Tabel 4, simpanan karbon kumulatif pada Ferralsols relatif lebih besar daripada Acrisols pada setiap kedalaman. Berdasarkan analisis keragaman simpanan karbon tanah kumulatif pada kedua tipe tanah (Lampiran 10) menunjukkan perbedaan nyata pada kedalaman 0-5 cm, 0-10 cm, 0-20 cm, dan 0-30 cm. Namun perbedaan simpanan karbon tanah kumulatif menjadi ti-

dak jelas dengan bertambahnya kedalaman tanah, dan tidak berbeda nyata secara statistik pada kedalaman pada 0-50 cm, 0-70 cm, dan 0-100 cm. Simpanan karbon tanah kumulatif pada tanah Ferralsols lebih besar daripada Acrisols pada kedalaman 0-30 cm, yaitu berturut-turut sebesar 75,72 ton/ha dan 64,39 ton/ha. Simpanan karbon tanah kumulatif pada tanah Ferralsols dan Acrisols pada kedalaman

0-50 cm, 0-70 cm, dan 0-100 cm berturut-turut sebesar 98,66 ton/ha, 123,38 ton/ha, dan 153 ton/ha untuk Ferralsols dan 95,24 ton/ha, 119,45 ton/ha, dan 151,00 ton/ha untuk Acrisols. Perbandingan simpanan karbon pada kedua tipe tanah pada kedalaman berbeda diilustrasikan dalam diagram batang pada Gambar 5.

Tabel (Table) 4. Simpanan karbon tanah kumulatif pada kedalaman berbeda pada dua tipe tanah yang berbeda di Maribaya dan Ngasuh, Bogor dan jumlah contoh yang diperlukan pada tingkat kepercayaan 95 % (Carbon stock at different depths of two different soil types in Maribaya dan Ngasuh, Bogor and number of samples required at 95 % confidence)

Tipe tanah (Soil type)	Plot (Plot)	Kedalaman (Depth) (cm)	N	Simpanan karbon (Carbon stock)			Jumlah contoh yang diperlukan (Required sample number) Kesalahan 5 % (5 % error)
				Rata-rata (Mean) (ton/ha)	SD	CV %	
Acrisol (Maribaya)	MB-CP + MB-0	0-5	80	14,40	2,18	15,12	35
		0-10	80	26,81	3,69	13,75	29
		0-20	80	47,24	6,65	14,08	38
		0-30	80	64,39	8,55	13,28	27
		0-50	10	95,24	12,99	13,64	29
		0-70	10	119,45	17,34	14,51	32
		0-100	10	151,00	26,08	17,27	45
Ferralsols (Ngasuh)	NS-CP + NS-0	0-5	80	16,16	1,53	9,45	14
		0-10	80	30,56	2,74	8,96	12
		0-20	80	54,83	5,38	9,8	15
		0-30	80	74,72	7,04	9,42	14
		0-50	10	98,66	10,41	10,55	17
		0-70	10	123,38	12,29	9,96	15
		0-100	10	153,89	13,17	8,56	11



Gambar (Figure) 5. Perbandingan simpanan karbon tanah kumulatif antara tipe tanah Acrisols Maribaya dan Ferralsols Ngasuh, Bogor pada kedalaman yang berbeda (Comparison of cumulative soil

carbon stocks of Acrisols and Ferralsols soil types among different depths in Maribaya and Ngasuh, Bogor

Koefisien keragaman (CV) simpanan karbon tanah kumulatif, yang mengekspresikan keragaman data relatif terhadap nilai rata-rata (Tabel 4), tidak menunjukkan korelasi yang konsisten antara CV dan kedalaman pada kedua tipe tanah. Koefisien keragaman rata-rata keseluruhan pada tanah Ferralsols (8,56-10,55 %) relatif lebih rendah dibandingkan dengan tanah Acrisols (13,28-17,27 %). CV simpanan karbon tanah pada Ferralsols yang berkarakteristik terlapuk sempurna secara fisik relatif sedikit lebih rendah bila dibandingkan dengan CV tanah Acrisols. Hal ini kemungkinan disebabkan karena bahan organik pada tanah Ferralsols lebih terdistribusi secara merata di antara lapisan-lapisan tanah sebagai akibat distribusi ruang pori mikro yang stabil dan merata (FAO, 2006). Pada tanah Ferralsols, pada kondisi demikian, bahan organik tanah yang telah terdekomposisi dan termineralisasi sebagian besar akan terjebak di dalam semua ruang pori mikro dan mungkin secara fisik terlindungi dari media yang menguraikannya, sehingga simpanan karbon tanah pada tipe tanah Ferralsols kemungkinan besar akan menghasilkan nilai keragaman/heterogenitas yang lebih rendah. Sedangkan pada Acrisols, distribusi bahan organik kemungkinan kurang merata karena bahan organik alami yang ditambahkan ke lahan tidak tersimpan secara baik di dalam ruang pori tanah sebagaimana pada Ferralsols sehingga keragaman secara keseluruhan relatif sedikit lebih tinggi. Faktor lainnya, keragaman simpanan bahan organik tanah pada suatu tipe tanah secara umum juga dihubungkan dengan keragaman topografi dan posisi tempat di mana komposisi jenis tumbuhan berada. Bahkan pada skala lahan yang sangat kecil, yaitu pada jarak antara tanaman yang satu dengan yang lainnya (*at the plant-interspace microsite scale*), kandungan organik tanah cenderung terkonsentrasi di bawah vegetasi daripada terkonsentrasi pada lahan terbuka yang terletak di antara

kedua vegetasi (Hook *et al.*, 1991; Vinton and Burke, 1995; Derner *et al.*, 1997; Burke *et al.*, 1999).

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Kerapatan tanah pada tanah Ferralsols secara umum lebih rendah daripada tanah Acrisols pada setiap kedalaman (0-100 cm), yaitu berkisar antara 0,53-0,86 g/cc dan 0,73-0,94 g/cc secara berurutan, dan secara statistik berbeda nyata pada setiap kedalaman 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, dan 30-50 cm.
2. Kandungan karbon tanah pada tanah Ferralsols secara umum lebih tinggi daripada tanah Acrisols pada setiap kedalaman (0-100 cm), yaitu berkisar antara 1,42-6,07 % dan 0,88-4,03 % secara berurutan, dan secara statistik berbeda nyata pada setiap kedalaman 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm.
3. Berdasarkan tipe tanah, kadar liat pada tanah Ferralsols lebih tinggi daripada tanah Acrisols pada kedalaman 0-100 cm, yaitu berkisar antara 78,6-87,6 % untuk Ferralsols dan 57,4-84,2 % untuk Acrisols.
4. Pada tanah Acrisols di Maribaya, perbedaan kandungan karbon dan kerapatan tanah antara tegakan hutan tanaman *Acacia mangium* Willd. (MB-O) dan vegetasi awalnya (MB-CP) kemungkinan besar bukan disebabkan oleh faktor penyiapan lahan, tetapi karena pengaruh sifat-sifat yang melekat pada suatu lahan, terutama pengaruh perbedaan kadar liat tanahnya.
5. Kerapatan tanah pada Acrisols dikontrol lebih kuat oleh kadar liat tanahnya. Sementara kandungan karbon pada tanah Ferralsols maupun Acrisols secara umum dikontrol oleh kerapatan tanah.

6. Potensi simpanan karbon tanah kumulatif pada tanah Ferralsols Ngasuh, Bogor lebih besar daripada Acrisols Maribaya, Bogor dan secara statistik berbeda nyata pada kedalaman 0-30 cm, yaitu berturut-turut sebesar 75,72 ton/ha dan 64,39 ton/ha. Namun dengan bertambahnya kedalaman (lebih besar dari 30 cm), simpanan karbon tanah kumulatif pada kedua tipe tanah hampir sama. Simpanan karbon tanah kumulatif pada tanah Ferralsols dan Acrisols pada kedalaman 0-50 cm, 0-70 cm, dan 0-100 cm berturut-turut sebesar 98,66 ton/ha, 123,38 ton/ha, dan 153 ton/ha untuk Ferralsols dan 95,24 ton/ha, 119,45 ton/ha, dan 151,00 ton/ha untuk Acrisols.

B. Saran

Penelitian tentang potensi simpanan karbon tanah perlu dikembangkan lebih lanjut berdasarkan keragaman tipe tanah, jenis vegetasi, iklim, topografi, sistem pengelolaan lahan yang diterapkan, serta faktor-faktor lainnya yang berpengaruh terhadap simpanan karbon tanah. Dengan demikian pada akhirnya akan didapat suatu *database* yang lebih komprehensif mengenai simpanan karbon tanah pada berbagai ekosistem hutan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Boone, R.D., D.F. Grigal, P. Sollins, R.J. Ahrens, and D.E. Armstrong. 1999. Soil Sampling, Preparation, Archiving, and Quality control. In Robertson, G.P., D.C. Coleman, C. S. Bledsoe, P. Sollins (Eds.). *Standard Soil Methods for Long-term Ecological Research* : 3-28. Oxford Univ. Press, New York.
- Dadal R. C. and R. J. Meyer. 1986. Long-terms Trends in Fertility of Soils Under Continous Cultivation and Cereal Cropping in Southern Queensland II. Total Organic Carbon and Its Rate of Loss from the Soil Profile. *Australia Journal Soil Resources* 24 : 281-292.
- FAO/ISRIC/ISSS. 1998. *World Reference Base for Soil Resources*. World Soil Resources Report No. 84. FAO, Rome.
- Hatori, H. 2003. *Soil Analysis Report. Carbon Fixing Forest Management Project*. Japan International Cooperation Agency and Forestry Research and Development Agency. Ministry of Forestry, Indonesia.
- Houghton, R.A. and J.L. Hackler. 2000. *Changes in Terrestrial Carbon Storage in the United States*. 1. The Roles of Agriculture and Forestry. *Global Ecology and Biogeography* 9 : 125-144.
- Kimble, J.M., H.Eswaran, and T. Cook. 1990. Organic Carbon on a Volume Basis in Tropical and Temperate Soils. In 14 th Int. Soil Science Congress 5 : 248-258.
- Lal, R. 2004. *Soil Carbon Sequestration to Mitigate Climate Change*. *Geoderma* 123 : 1- 22.
- Lal, R. 1997. *Residue Management, Conservation Tillage and Soil Restoration for Mitigating Greenhouse Effect by CO₂ Enrichment*. *Soil and Tillage Research* 43 : 81-107.
- Melillo, J.M., J.D. Aber, and J.F. Muratore. 1982. The Influence of Substrate Quality on Leaf Litter Decay in a Northern Hardwood Forest. *Ecology* 63 : 621-626.
- Minitab Software. 2000. *Minitab Release 13.20*. Minitab, Incorporation USA.
- Oades, J. M. 1988. The Retention of Organic Matter in Soils. *Biogeochemistry* 5 : 35-70.
- Ohta, S. and Effendi. 1992. *Ultisols of Lowland Dipterocarp Forest in East Kalimantan, Indonesia*, I. Morphology and Physical Properties. *Soil Science and Plant Nutrition* 38 : 197-206.
- Ohta, S. 2001. *Outlined Procedure of Soil Survey and Soil Sampling (Draft)*.

- Carbon Fixing Forest Management Project. Japan International Cooperation Agency and Forestry Research and Development Agency. Ministry of Forestry, Indonesia: pp.7 (Tidak dipublikasikan).
- Quideau, S.A., R.C. Graham, O.A. Chadwick, and H.B Wood. 1998. Organic Carbon Sequestration Under Chaparral and Pine After Four Decades of Soil Development. *Geoderma* 83 : 227-242.
- Rasmussen, P.E., S.L. Albercht, and R.W. Smile. 1998. Soil C and N Changes Under Tillage and Cropping Systems in Semi-arid Pacific Northwest Agriculture. *Soil and Tillage Research* 47 : 197-205.
- Sall, J., L. Creighton, and A. Lehman. 2005. *JMP Start Statistics. A Guide to Statistics and Data Analysis Using JMP and JMP in Software*. Thomson Learning Academic Resource Center. Third Edition : pp. 560.
- Sanchez, P.A. 1976. *Properties and Management of Soils in the Tropics*. Department of Soil Science, North Caroline State University. John Wiley and Sons Inc. New York-Chichester-Brisbane-Toronto-Singapore : p. 417- 421.
- Sanchez, P.A., M.P. Cichuru, and L.B. Katz. 1982. Organic Matter in Major Soils of Tropical and Temperate Regions. In 12 th Soil Sci. Congress.
- Schimel, D.S.1995. Terrestrial Ecosystems and the Carbon Cycle. *Global Change Biology*, I (1) : 77-91.
- Siregar, C.A., H. H. Siringoringo, and H. Hatori. 2003. Analysis of Soil Carbon Accumulation of *Shorea leprosula* Plantation in Ngasuh, West Java. *Buletin Penelitian Hutan* 634 : 79-92. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam. Bogor.
- Siringoringo, H.H, C. A. Siregar, and H. Hatori, 2003a. Analysis of Soil Carbon Accumulation of *Acacia mangium* Plantation in Maribaya, West Java. *Buletin Penelitian Hutan* 634 : 59-78. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam. Bogor.
- _____. 2003b. Analysis of Soil Carbon Accumulation of *Pinus merkusii* Plantation in Maribaya, West Java. *Buletin Penelitian Hutan* 634 : 93-104. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam. Bogor.
- Siringoringo, H.H. dan C. A. Siregar. 2006. Perubahan Kandungan Karbon Tanah pada Tegakan *Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen di Sukabumi, Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* III(5): 477-489. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam. Bogor.
- Stevens, A. 2006. Detection of Carbon Stock Change in Agricultural Soil with VIS-NIR-SWIR Spectroscopy and Airbornehyperspectral Remote Sensing. UCL/GEO, Unite de Geographie. [www.geo.ucl.ac.be/Recherche/Geophysique/Projects/Stevens 1.html](http://www.geo.ucl.ac.be/Recherche/Geophysique/Projects/Stevens%201.html) : pp.7. Diakses tanggal 12 Juni 2006.
- Soil Survey Staff. 1999. *Keys to Soil Taxonomy*. USDA Natural Resources Conservation Service, Washington DC.
- Trumbore, S.E. and M.S. Torn. 2003. Soils and the Global Carbon Cycles. In EA Holland, ed. *Soils and Global Change*, NATO Advance Study Institute, in press; LBNL-44910.
- US EPA. 2006. *Carbon Sequestration in Agriculture and Forestry : Frequent Questions*. U.S. Environmental Protection Agency. www.epa.gov/sequestration/faq.html.: pp.6. Diakses tanggal 13 Juni 2006.
- Whitbread, A.M., R.D.B. Lefroy, and G.J. Blair. 1998. A Survey of the Impact of Cropping on Soil Physical and Chemical Properties in North West New South Wales. *Australian Journal of Soil Research* 36 : 669-682.
- Young, R. B., R.W. Brian, Mc.L. Malem, and A. Clair. 2005. Carbon Storage in the Soils and Vegetation of Contrasting Land Uses in Northern New South

Wales. *Australian Journal of Soil Research* 43 (1) : 21-31. CSIRO Publishing.
 Lampiran (Appendix) 1. Analisis keragaman kerapatan tanah Acrisols, Maribaya-Bogor dan Ferralsols, Ngasuh-Bogor pada setiap kedalaman (*Analysis of variance of bulk density of Acrisols Maribaya and Ferralsols Ngasuh Bogor for each depth*)

Kedalaman (Depth), cm	Sumber keragaman (Source of variation)	Db (df)	Jumlah kuadrat (Sum of square)	Rataan kuadrat (Mean of square)	F-rasio (F-ratio)	Prob > F
0 - 5	Tipe tanah (Soil type)	1	2,37	2,37	256,15	<,0001
	Galat (Error)	158	1,46	0,009		
	Total terkoreksi (Corrected total)	159	3,84			
5 - 10	Tipe tanah (Soil type)	1	1,80	1,80	264,30	<,0001
	Galat (Error)	158	1,08	0,007		
	Total terkoreksi (Corrected total)	159	2,88			
10 - 20	Tipe tanah (Soil type)	1	1,77	1,77	281,33	<,0001
	Galat (Error)	158	0,99	0,006		
	Total terkoreksi (Corrected total)	159	2,77			
20 - 30	Tipe tanah (Soil type)	1	1,44	1,44	278,77	<,0001
	Galat (Error)	158	0,81	0,005		
	Total terkoreksi (Corrected total)	159	2,25			
30 - 50	Tipe tanah (Soil type)	1	0,07	0,07	13,82	0,002
	Galat (Error)	18	0,09	0,005		
	Total terkoreksi (Corrected total)	19	0,15			
50 - 70	Tipe tanah (Soil type)	1	0,02	0,02	5,18	0,04
	Galat (Error)	18	0,07	0,004		
	Total terkoreksi (Corrected total)	19	0,09			
70 - 100	Tipe tanah (Soil type)	1	0,02	0,02	5,12	0,04
	Galat (Error)	18	0,07	0,004		
	Total terkoreksi (Corrected total)	19	0,09			

Lampiran (Appendix) 2. Analisis keragaman kerapatan tanah berdasarkan plot pada Acrisols, Maribaya-Bogor dan Ferralsols, Ngasuh-Bogor pada setiap kedalaman (*Analysis of variance of bulk density by plot of Acrisols Maribaya and Ferralsols Ngasuh Bogor for each depth*)

Kedalaman (Depth), cm	Sumber keragaman (Source of variation)	Db (df)	Jumlah kuadrat (Sum of square)	Rataan kuadrat (Mean of square)	F-rasio (F-ratio)	Prob > F
0 - 5	Plot (Plot)	3	2,77	0,92	135,28	<,0001
	Galat (Error)	156	1,06	0,007		
	Total terkoreksi (Corrected total)	159	3,84			
5 - 10	Plot (Plot)	3	1,92	0,64	103,62	<,0001
	Galat (Error)	156	0,96	0,006		
	Total terkoreksi (Corrected total)	159	2,88			
10 - 20	Plot (Plot)	3	1,89	0,63	111,54	<,0001
	Galat (Error)	156	0,88	0,006		
	Total terkoreksi (Corrected total)	159	2,77			
20 - 30	Plot (Plot)	3	1,50	0,50	104,60	<,0001
	Galat (Error)	156	0,75	0,005		
	Total terkoreksi (Corrected total)	159	2,25			
30 - 50	Plot (Plot)	3	0,08	0,03	5,84	0,0068
	Galat (Error)	16	0,07	0,004		
	Total terkoreksi (Corrected total)	19	0,15			
50 - 70	Plot (Plot)	3	0,03	0,01	2,98	0,0626
	Galat (Error)	16	0,06	0,004		
	Total terkoreksi (Corrected total)	19	0,09			
70 - 100	Plot (Plot)	3	0,02	0,008	1,90	0,1696
	Galat (Error)	16	0,07	0,004		
	Total terkoreksi (Corrected total)	19	0,09			

Lampiran (Appendix) 3. Perbandingan nilai rata-rata kerapatan tanah berdasarkan plot pada Acrisols Maribaya-Bogor dan Ferralsols Ngasuh, Bogor pada setiap kedalaman (*Comparisons of soil bulk-density mean value by plot of Acrisols Maribaya and Ferralsols Ngasuh Bogor for each depth*)

Tipe tanah (Soil type)	Plot	Nilai rata-rata kerapatan tanah pada setiap kedalaman (Mean values of soil bulk density for each depth)						
		0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 30 cm	30 - 50 cm	50 - 70 cm	70 - 100 cm
Acrisols	M-CP	0,86 ^a	0,90 ^a	0,93 ^a	0,94 ^a	0,93 ^a	0,91 ^a	0,91 ^a
	MB-0	0,73 ^b	0,83 ^b	0,86 ^b	0,89 ^b	0,86 ^{ab}	0,86 ^{ab}	0,90 ^a
Ferralsols	NS-CP	0,53 ^c	0,64 ^c	0,68 ^c	0,72 ^c	0,80 ^b	0,84 ^{ab}	0,86 ^a
	NS-0	0,57 ^c	0,67 ^c	0,69 ^c	0,73 ^c	0,76 ^b	0,80 ^b	0,82 ^a

Keterangan (Remarks) : Nilai rata-rata di dalam kolom yang sama diikuti huruf yang berbeda adalah berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji HSD Tukey-Kramer (Mean values in the same column followed by the different letter are

significantly different at 5% level according to Tukey-Kramer HSD test)

Lampiran (Appendix) 4. Analisis keragaman kandungan karbon tanah Acrisols, Maribaya-Bogor dan Ferralsols, Ngasuh-Bogor pada setiap kedalaman (Analysis of variance of soil carbon content of Acrisol Maribaya and Ferralsols Ngasuh, Bogor for each depth)

Kedalaman (Depth), cm	Sumber keragaman (Source of variation)	Db (df)	Jumlah kuadrat (Sum of square)	Rataan kuadrat (Mean of square)	F-rasio (F-ratio)	Prob > F
0 - 5	Tipe tanah (Soil type)	1	204,46	204,46	316,46	<,0001
	Galat (Error)	158	102,08	0,65		
	Total terkoreksi (Corrected total)	159	306,54			
5 - 10	Tipe tanah (Soil type)	1	96,63	96,63	219,08	<,0001
	Galat (Error)	158	69,69	0,44		
	Total terkoreksi (Corrected total)	159	166,31			
10 - 20	Tipe tanah (Soil type)	1	62,94	62,94	221,74	<,0001
	Galat (Error)	158	44,85	0,28		
	Total terkoreksi (Corrected total)	159	107,79			
20 - 30	Tipe tanah (Soil type)	1	30,10	30,10	173,32	<,0001
	Galat (Error)	158	27,44	0,17		
	Total terkoreksi (Corrected total)	159	57,54			
30 - 50	Tipe tanah (Soil type)	1	0,21	0,21	1,67	0,21
	Galat (Error)	18	2,29	0,13		
	Total terkoreksi (Corrected total)	19	2,50			
50 - 70	Tipe tanah (Soil type)	1	0,09	0,09	1,07	0,31
	Galat (Error)	18	1,51	0,08		
	Total terkoreksi (Corrected total)	19	1,60			
70 - 100	Tipe tanah (Soil type)	1	0,02	0,02	0,15	0,70
	Galat (Error)	18	2,38	0,13		
	Total terkoreksi (Corrected total)	19	2,40			

Lampiran (Appendix) 5. Analisis keragaman kandungan karbon berdasarkan plot tanah Acrisols, Maribaya-Bogor dan Ferralsols, Ngasuh-Bogor pada setiap kedalaman (Analysis of variance of soil carbon content by plots of Acrisols Maribaya and Ferralsols Ngasuh, Bogor for each depth)

Kedalaman (Depth), cm	Sumber keragaman (Source of variation)	Db (df)	Jumlah kuadrat (Sum of square)	Rataan kuadrat (Mean of square)	F-rasio (F-ratio)	Prob > F
0 - 5	Plot (Plot)	3	214,03	71,34	120,30	<,0001
	Galat (Error)	156	92,51	0,59		
	Total terkoreksi (Corrected total)	159	306,54			
5 - 10	Plot (Plot)	3	103,43	34,48	85,52	<,0001
	Galat (Error)	156	62,89	0,40		
	Total terkoreksi (Corrected total)	159	166,31			
10 - 20	Plot (Plot)	3	64,69	21,56	78,06	<,0001
	Galat (Error)	156	43,09	0,28		
	Total terkoreksi (Corrected total)	159	107,78			
20 - 30	Plot (Plot)	3	32,10	10,70	65,58	<,0001
	Galat (Error)	156	25,45	0,16		
	Total terkoreksi (Corrected total)	159	57,54			
30 - 50	Plot (Plot)	3	1,02	0,34	3,65	0,04
	Galat (Error)	16	1,48	0,09		
	Total terkoreksi (Corrected total)	19	2,50			
50 - 70	Plot (Plot)	3	0,35	0,12	1,51	0,25
	Galat (Error)	16	1,25	0,08		
	Total terkoreksi (Corrected total)	19	1,60			
70 - 100	Plot (Plot)	3	0,78	0,26	2,58	0,09
	Galat (Error)	16	1,62	0,10		
	Total terkoreksi (Corrected total)	19	2,40			

Lampiran (Appendix) 6. Perbandingan nilai rata-rata kandungan karbon tanah berdasarkan plot pada Acrisols, Maribaya, Bogor dan Ferralsols, Ngasuh-Bogor pada setiap kedalaman (Comparisons of mean values of soil carbon content by plot of Acrisols Maribaya and Ferralsols Ngasuh, Bogor for each depth)

Plot (Plot)	Rata-rata kandungan karbon pada setiap kedalaman (Mean value of carbon content for each depth)						
	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 30 cm	30 - 50 cm	50 - 70 cm	70 - 100 cm
NS-CP	6,07 ^a	4,60 ^a	3,54 ^a	2,70 ^a	1,63 ^{ab}	1,42 ^a	1,18 ^a
NS-O	5,85 ^a	4,30 ^a	3,58 ^a	2,82 ^a	2,07 ^a	1,61 ^a	1,25 ^a
MB-CP	3,37 ^c	2,65 ^c	2,16 ^b	1,74 ^c	1,47 ^b	1,25 ^a	0,88 ^a
MB-O	4,03 ^b	3,15 ^b	2,45 ^b	2,04 ^b	1,82 ^{ab}	1,51 ^a	1,42 ^a

Keterangan (Remarks) : Nilai rata-rata di dalam kolom yang sama diikuti huruf yang berbeda adalah berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji HSD Tukey-Kramer (Mean values in the same column followed by the different letter are significantly different at 5% level according to Tukey-Kramer HSD test)

Lampiran (Appendix) 7. Analisis keragaman kandungan liat Acrisols Maribaya dan Ferralsols Ngasuh (*Analysis of variance of clay content of Acrisols Maribaya and Ferralsols Ngasuh, Bogor*)

Sumber keragaman (Source of variation)	Db (df)	Jumlah kuadrat (Sum of square)	Rataan kuadrat (Mean of square)	F-rasio (F-ratio)	Prob > F
Tipe tanah (Soil type)	1	882,57	882,57	24,15	<,0001
Galat (Error)	26	950,34	36,55		
Total terkoreksi (Corrected total)	27	1832,91			

Lampiran (Appendix) 8. Analisis keragaman kandungan liat Acrisols Maribaya-Bogor dan Ferralsols, Ngasuh Bogor berdasarkan plot (*Analysis of variance of clay content of Acrisols Maribaya and Ferralsols Ngasuh, Bogor by plots*)

Sumber keragaman (Source of variation)	Db (df)	Jumlah kuadrat (Sum of square)	Rataan kuadrat (Mean of square)	F-rasio (F-ratio)	Prob > F
Plot (Plot)	3	1250,44	416,81	17,17	<,0001
Galat (Error)	24	582,47	24,27		
Total terkoreksi (Corrected total)	27	1832,91			

Lampiran (Appendix) 9. Perbandingan nilai rata-rata kandungan karbon tanah berdasarkan plot pada Acrisols Maribaya-Bogor dan Ferralsols Ngasuh-Bogor pada kedalaman 0 – 100 cm (*Comparisons of mean values of soil clay content by plot of Acrisols Maribaya and Ferralsols Ngasuh, Bogor for 0 – 100 cm depth*)

Plot (Plot)	Nilai rata-rata kandungan liat (Mean values of carbon content)
NS-O	85,40 ^a
NS-CP	80,54 ^{ab}
MB-CP	76,26 ^b
MB-0	67,23 ^c

Keterangan (Remarks) : Nilai rata-rata di dalam kolom yang sama diikuti huruf yang berbeda adalah berbeda nyata pada taraf 5% menurut uji HSD Tukey-Kramer (*Mean values in the same column followed by the different letter are significantly different at 5% level according to Tukey-Kramer HSD test*)

Lampiran (Appendix) 10. Analisis keragaman simpanan karbon kumulatif tanah Acrisols Maribaya-Bogor dan Ferralsols, Ngasuh-Bogor pada setiap kedalaman (*Analysis of variance of cumulative soil carbon stock of Acrisols Maribaya and Ferralsols Ngasuh, Bogor for each depth*)

Kedalaman (Depth), cm	Sumber keragaman (Source of variation)	Db (df)	Jumlah kuadrat (Sum of square)	Rataan kuadrat (Mean of square)	F-rasio (F-ratio)	Prob > F
0 - 5	Tipe tanah (Soil type)	1	122,96	122,96	34,77	<,0001
	Galat (Error)	158	558,78	3,54		
	Total terkoreksi (Corrected total)	159	681,75			
0 - 10	Tipe tanah (Soil type)	1	561,89	561,90	53,31	<,0001
	Galat (Error)	158	1665,20	10,54		
	Total terkoreksi (Corrected total)	159	2227,10			
0 - 20	Tipe tanah (Soil type)	1	2303,38	2303,38	62,97	<,0001
	Galat (Error)	158	5779,29	36,58		
	Total terkoreksi (Corrected total)	159	8082,66			
0 - 30	Tipe tanah (Soil type)	1	4276,40	4276,40	69,74	<,0001
	Galat (Error)	158	9688,84	61,32		
	Total terkoreksi (Corrected total)	159	13965,25			
0 - 50	Tipe tanah (Soil type)	1	58,44	58,439	0,42	0,5242
	Galat (Error)	18	2492,92	138,50		
	Total terkoreksi (Corrected total)	19	2551,36			
0 - 70	Tipe tanah (Soil type)	1	77,25	77,25	0,34	0,5659
	Galat (Error)	18	4064,54	225,81		
	Total terkoreksi (Corrected total)	19	4141,79			
0 - 100	Tipe tanah (Soil type)	1	41,79	41,79	0,10	0,7579
	Galat (Error)	18	7681,64	426,76		
	Total terkoreksi (Corrected total)	19	7723,43			