

**PERUBAHAN KANDUNGAN KARBON TANAH  
PADA TEGAKAN *Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen  
DI SUKABUMI, JAWA BARAT  
(Soil Carbon Changes Affected By The Establishment  
of *Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen Plantation In Sukabumi, West Java)**

Oleh/By :

Harris Herman Siringoringo dan/and Chairil Anwar Siregar

**ABSTRACT**

Soil carbon is able to affect environmental change and vice versa. It is, therefore, important to study the soil carbon changes resulted from the establishment of plantations. The main objective of this research is to examine changes of soil carbon by comparing soil carbon content and bulk density as well as cumulative soil carbon stock of *Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen plantation and its baseline vegetation (young secondary forest). The research was performed in Buniwangi Village, Pelabuhan Ratu, Sukabumi, West Java, comprising soil type of Reddish Brown Latosol (Ferralsols) and type B of climate condition (annual rainfall 2,929 mm). The results showed that the carbon content was higher at uppermost soil depth than that of lower depth and it decreased to a lower depth. The carbon content at 0-30 cm soil depth for a 6-7 year *P. falcataria* plantation and that for its baseline vegetation were relatively the same and it ranged at 1.52-3.16 % and 1.24-3.21 %, respectively; while the soil bulk density was higher in the *P. falcataria* at 0-30 cm soil depth ranging at 0.83-0.86 g/cc and 0.73-0.76 g/cc, respectively. Meanwhile, the cumulative soil carbon stock at 0-30 cm soil depth for *P. falcataria* plantation was somewhat higher than that of baseline although there was no the differences statistically, those were 59.43 ton/ha and 51.16 ton/ha, respectively. It is concluded that the 6-7 year old *P. falcataria* forest plantation developed as a community forest does not contribute significantly yet for increasing soil carbon content and cumulative soil carbon stock.

**Key words:** Soil carbon, bulk density, cumulative soil carbon content

**ABSTRAK**

Karbon tanah dapat mempengaruhi dan dipengaruhi oleh perubahan lingkungan. Oleh karena itu, mempelajari perubahan kandungan karbon tanah di bawah tegakan hutan tanaman adalah sangat penting. Tujuan utama penelitian ini untuk mendapatkan informasi tentang perubahan kandungan karbon dengan cara membandingkan kandungan karbon tanah, kerapatan tanah, dan simpanan karbon tanah kumulatif pada tegakan hutan tanaman *Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen dan vegetasi awalnya (hutan sekunder). Penelitian dilaksanakan pada jenis tanah Latosol Coklat Kemerahan (Ferralsols/Oxisols) dengan kondisi iklim B (curah hujan tahunan 2.929 mm) di Desa Buniwangi, Pelabuhan Ratu, Sukabumi, Jawa Barat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kandungan karbon tanah lebih tinggi pada lapisan permukaan tanah dan menurun pada lapisan tanah yang lebih bawah. Karbon tanah pada kedalaman 0-30 cm di bawah tegakan *P. falcataria* dan vegetasi *baseline* tidak menunjukkan perbedaan, yaitu berturut-turut 1,52-3,16 % dan 1,24-3,21 %. Sedangkan kerapatan tanah (BD) pada tegakan *P. falcataria* lebih tinggi daripada kerapatan tanah pada vegetasi *baseline* pada kedalaman 0-30 cm, yaitu berturut-turut 0,83-0,86 g/cc dan 0,73-0,76 g/cc. Sementara simpanan karbon tanah kumulatif pada kedalaman 0-30 cm di bawah tegakan *P. falcataria* sedikit lebih tinggi daripada vegetasi *baseline* walaupun secara statistik tidak menunjukkan perbedaan, yaitu sebesar 59,43 ton/ha dan 51,16 ton/ha secara berurutan. Sistem tegakan hutan tanaman rakyat jenis *P. falcataria* belum memberikan pengaruh yang berarti terhadap peningkatan kandungan karbon tanah dan simpanan karbon tanah kumulatif pada saat tegakan berumur 6-7 tahun.

**Kata kunci :** Karbon tanah, kerapatan tanah, simpanan karbon tanah kumulatif



## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> atmosfer memiliki potensi yang dapat mengubah iklim global. Konsentrasi CO<sub>2</sub> atmosfer telah meningkat lebih dari 30 %, yakni dari sekitar 280 ppmv pada pertengahan tahun 1800 menjadi 371 ppmv pada tahun 2001, dan peningkatan ini akan terus berlanjut karena laju emisi CO<sub>2</sub> saat ini jauh lebih besar daripada laju upaya stabilisasi konsentrasi CO<sub>2</sub> (Post *et al.*, 2006). Lebih dari itu, menurut Jenkinson (2001) pemanasan global juga akan meningkatkan suhu tanah daratan. Apabila dampak pemanasan global dapat mempercepat penguraian karbon dalam tanah, maka akan lebih banyak lagi CO<sub>2</sub> dilepas ke atmosfer, dan akan berakibat pada meningkatnya kecenderungan pemanasan global. Jumlah karbon pada lapisan atas tanah adalah dua kali lebih besar daripada jumlah karbon di atmosfer (Jenkinson, 2001) sedangkan pada ekosistem daratan jumlah karbon pada tanah biasanya lebih besar dari jumlah karbon pada vegetasi hidup (Post *et al.*, 2006).

Karbon disimpan di dalam tanah dalam bentuk karbon organik dan karbon anorganik. Karbon tanah sebagian besar dalam bentuk karbon organik tanah (*soil organic carbon*) yang berasal dari bahan organik atau vegetasi yang terlapuk dan diikuti proses mineralisasi di dalam tanah. Karbon organik tanah menyumbangkan simpanan karbon yang besar dalam ekosistem daratan dan memainkan peran penting dalam siklus karbon global (Stevens, 2006). Sedangkan karbon anorganik berasal dari proses mineralisasi batuan pembentuk tanah menjadi senyawa C-anorganik, seperti CaCO<sub>3</sub> (batu kapur), CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (dolomit), dan bentuk-bentuk senyawa garam karbonat lainnya. Menurut Pignard *et al.* (2000) karbon yang hilang dari senyawa C-anorganik tanah umumnya terjadi karena proses pencucian (*leaching*) garam-garam kar-

bonat yang dapat larut dan bukan mengakibatkan emisi karbon (CO<sub>2</sub>) ke atmosfer. Sebaliknya, pada kondisi iklim yang lebih kering, senyawa karbonat mungkin akan mengendap di dalam profil tanah dan selanjutnya akan menghasilkan emisi CO<sub>2</sub>. Namun jumlah emisi dari senyawa C-anorganik tersebut menjadi terabaikan bila dibandingkan dengan besarnya jumlah emisi yang dihasilkan dari siklus karbon organik tanah.

Tanah pada skala global dapat berfungsi sebagai sumber emisi maupun penyimpan karbon (*source and sink*), namun kemampuan tanah dalam berperan sebagai *carbon sink* tergantung pada praktek pengelolaan lahan yang diterapkan. Tanah menjadi sumber emisi karbon ke atmosfer terutama karena penguraian bahan organik tanah menjadi CO<sub>2</sub>. Alih guna lahan dari vegetasi alam menjadi lahan pertanian dan areal pemanfaatan lain seperti industri, pemukiman, dan penggembalaan berlebihan mengakibatkan hilangnya siklus karbon organik tanah yang seharusnya terjadi pada lahan hutan yang tidak terganggu. Menurut Post *et al.* (2006), bahan organik hilang dari tanah terjadi melalui proses pelapukan serta mineralisasi bahan organik, pencucian (*leaching*) ke air permukaan (*groundwater*), serta erosi yang disebabkan oleh aliran permukaan (*runoff*). Menurut Post *et al.* (2000), jumlah karbon organik tanah yang hilang dari tanah dapat diidentifikasi melalui jumlah pemasukan bahan organik berkurang ke dalam tanah, jumlah penguraian residu tanaman meningkat, serta pengaruh sistem pengolahan lahan (*tillage effects*). Jumlah karbon tanah dalam berbagai bentuk yang beragam dipengaruhi oleh keseimbangan antara pemasukan bahan organik yang ditambahkan dari sistem tegakan hutan dan bahan organik yang hilang dari lahan hutan.

Di sisi lain, tanah dapat menjadi penyimpan/pengurang karbon (*carbon sink*) atmosfer bermula dari proses fiksasi karbon atmosfer oleh tanaman/pohon melalui proses fotosintesis dan merubahnya men-



jadi 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 *et al.*, 2003). Oleh karena itu, mengetahui dinamika karbon dalam tanah adalah sama pentingnya sebagaimana mengetahui peran karbon dalam keseimbangan ekosistem daratan maupun siklus karbon global. Laju penambatan karbon tanah (*soil carbon sequestration rate*) bervariasi berdasarkan tipe tanah dan sistem pengelolaan yang diterapkan pada tanaman (US EPA, 2006).

Hasil penelitian Siringoringo *et al.* (2003) menunjukkan bahwa akumulasi simpanan karbon tanah pada hutan tanaman *Acacia mangium* dengan kedalaman 0-30 cm masing-masing pada plot tanaman berumur 0, 3, 5, 8, dan 10 tahun pada tipe tanah Acrisols sebesar 66,1 ton/ha, 47,8 ton/ha, 63,8 ton/ha, 65,4 ton/ha, dan 56,5 ton/ha, secara berurutan. Sementara akumulasi simpanan karbon tanah pada vegetasi *baseline*-nya sebesar 62,3 ton/ha. Di antara jenis pohon cepat tumbuh yang dikembangkan di Indonesia, *Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen merupakan jenis tanaman yang adaptif pada lahan kritis serta memiliki sebaran pertumbuhan yang luas.

Penelitian ini dimaksudkan untuk merangkum informasi tentang perubahan kandungan karbon tanah pada tegakan *Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen dan dibandingkan dengan perubahan kandungan karbon pada vegetasi *baseline*/hutan sekunder pada tipe tanah yang sama, yaitu Latosol Coklat Kemerahan (*Ferralsol/Oxisol*). Hasil penelitian sebelumnya pada lahan yang sama telah diperoleh data simpanan karbon biomasa

total pada tegakan *P. falcataria* (L) Nielsen sebesar 28-29 ton C/ha dengan kondisi kerapatan tegakan sebesar 1.300 pohon/ha dan pada vegetasi *baseline* sebesar 9-11 ton C/ha dengan kondisi kerapatan pohon berkayu 2.880 pohon/ha.

## B. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi tentang perbedaan kandungan karbon dalam tanah antara tegakan *P. falcataria* dan vegetasi *baseline* (tanpa tegakan *P. falcataria*) di Desa Buniwangi, Pelabuhan Ratu, Sukabumi (Jawa Barat).

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan informasi tentang perubahan kandungan karbon dalam tanah di bawah tegakan jenis *P. falcataria* dalam memberikan kontribusi pada *carbon sequestration* dan mitigasi pemanasan global.

## II. METODOLOGI

### A. Deskripsi Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada areal hutan tanaman rakyat *P. falcataria* di Desa Buniwangi, Kecamatan Pelabuhan Ratu, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat. Deskripsi plot yang diteliti dan desain subplot pengambilan contoh tanah dirangkum pada Tabel 1.

Jenis tanah pada areal penelitian adalah Latosol Coklat Kemerahan (*Ferralsol/Oxisols*). Topografi areal penelitian termasuk kategori berbukit sampai bergunung dengan kemiringan lereng 41-43 %, ketinggian tempat 220-230 m di atas permukaan laut. Kondisi iklim adalah tipe B dengan curah hujan tahunan 2.929 mm (Schmidt dan Ferguson, 1951).

### B. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian di lapangan adalah contoh tanah. Peralatan yang digunakan adalah silinder baja/*ring* contoh tanah 100 cc, kompas, altimeter, haka, meteran, kamera, dan alat



Tabel (Table) 1. Deskripsi plot dan desain pengambilan contoh tanah (*Description plot and sampling plot design*)

Plot	Luas areal (Stand area) (ha)	Ukuran subplot (Subplot size) (m <sup>2</sup> )	Jumlah subplot (Number of subplots)	Jumlah titik pengambilan contoh tanah (Total sampling points) <sup>1)</sup>	Pohon dominan (Dominant tree species)	Kerapatan pohon (Tree density), pohon/ha (tree/ha)	Rerata DBH (Av. DBH) (cm)
Hutan tanaman rakyat ( <i>Community forest</i> )	31	10 x 15	1	10	<i>P. falcataria</i>	1.300	10,94
Baseline/hutan sekunder ( <i>Young secondary forest</i> )	5	10 x 10	4	16	<sup>2)</sup>	2.880	5,2

Keterangan (Remarks) :

<sup>1)</sup> Jumlah titik pengambilan contoh tanah pada kedalaman 0-30 cm (*Number of soil sampling for 0-30 cm depth*). Contoh tanah diambil dari kedalaman (*Soil samples were collected from*) 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm.

<sup>2)</sup> Pohon dominan (*Dominant trees*) : kopi (*Coffea arabica*), hanjere (*Glochidion seiceum*), lame (*Alstonia scholaris*).

tulis. Sedangkan alat-alat yang digunakan di laboratorium adalah *oven*, *willey mill*, dan *vibration mill*, *NC analyzer*, dan perlengkapan laboratorium lainnya.

## C. Metode

### 1. Pengambilan Contoh Tanah pada Subplot

Contoh tanah diambil dari masing-masing titik pengambilan contoh (16 titik dari empat subplot untuk vegetasi *baseline* dan 10 titik dari satu subplot untuk tegakan *P. falcataria* (Tabel 1). Contoh tanah diambil hingga kedalaman 0-30 cm dengan interval kedalaman 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, dan 20-30 cm dan diambil secara berurutan dari lapisan teratas hingga lapisan terbawah. Contoh tanah diambil dengan menggunakan *ring* contoh berukuran 20 cm<sup>2</sup> x 5 cm (100 cc). *Ring* contoh tanah sebanyak empat buah ditempatkan pada setiap lapisan tanah secara konsisten untuk mendapatkan contoh yang representatif pada setiap kedalaman. Setelah contoh tanah diambil, contoh tanah pada setiap lapisan yang sama dikompositkan dan selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk analisis lebih lanjut. Prosedur pengambilan contoh tanah yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan metode yang digambarkan oleh Hatori (2003).

### 2. Metode Penyiapan Contoh Tanah

Contoh tanah dari dalam ring dikering-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 2 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 105°C ditentukan dengan menggunakan *oven*, dan karbon tanah dianalisis dengan menggunakan *NC analyzer*.

## D. Perhitungan

### 1. Kerapatan Tanah (BD) Tanah

Kerapatan tanah (g/cc) menurut Ohta (2001) dihitung berdasarkan rumus persamaan berikut :



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

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

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

Di mana :

- W<sub>t</sub> = Berat total tanah kering udara (*Total weight of air-dried soil*), (g)
- W<sub>g</sub> = Berat bebatuan (*Weight of gravel*), (g)
- MF<sub>f</sub> = Faktor kadar air tanah halus (*Moisture factor of fine soil*)
- MF<sub>p</sub> = Faktor kadar air tanah bubuk halus (*Moisture factor of powder soil*)
- V<sub>r</sub> = Volume ring contoh
- W<sub>f</sub> = Berat tanah halus kering udara (*Air dried fine soil weight*)
- W<sub>p</sub> = Berat tanah bubuk kering udara (*Air dried powder soil weight*)
- W<sub>v1</sub> = Berat wadah (*Weight of vessel*) dan Berat contoh tanah (*Weight of soil sample*)
- W<sub>o1</sub> = Berat tanah kering oven 105°C dan berat wadah (*Weight of 105°C oven-dried soil and vessel*)

## 2. Simpanan Karbon Tanah

Perhitungan simpanan karbon tanah kumulatif menurut Ohta (2001) pada kedalaman 0-30 cm dihitung dengan menjumlahkan simpanan karbon pada setiap kedalaman lapisan tanah (0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm).

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

Di mana :

- T = Kedalaman (cm)
- Cs = Kandungan karbon tanah (%)
- MF<sub>p</sub> = 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

## E. Analisis Statistik

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

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Kandungan Karbon Tanah di bawah Tegakan *P. falcataria* dan Vegetasi *Baseline*

Tabel 2 pada Lampiran merangkum data kandungan karbon tanah di bawah tegakan *P. falcataria* dan vegetasi *baseline* pada beberapa interval kedalaman yang meliputi nilai rerata kandungan karbon, simpangan baku (SD), dan koefisien keragaman (CV) pada setiap kedalaman 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, dan 20-30 cm.

Kandungan karbon tanah lebih tinggi pada lapisan permukaan tanah dan menurun pada lapisan tanah yang lebih bawah. Kandungan karbon pada kedalaman 0-30 cm di bawah tegakan *P. falcataria* maupun vegetasi *baseline* relatif sama, yaitu berturut-turut berkisar antara 1,52 %-3,16 % dan 1,24 %-3,21 %. Nilai koefisien keragaman kandungan karbon tanah berkisar antara 9 %-22 % pada tegakan *P. falcataria* dan 11-32 % pada vegetasi



*baseline*. Kecuali pada nilai CV yang tinggi yang mana menunjukkan kemungkinan nilai yang tidak normal masuk dalam data, secara umum nilai koefisien keragaman pada kedua plot ada dalam kisaran 9 %-17 %. Nilai ini menggambarkan bahwa karakteristik tanah pada kedua plot yang diteliti relatif homogen.

Hasil analisis keragaman (ANOVA) kandungan karbon tanah (Tabel 2 dan Tabel 3 pada Lampiran) berdasarkan plot tegakan *P. falcataria* dan plot vegetasi *baseline* tidak menunjukkan perbedaan yang nyata (ANOVA satu arah,  $p > 0,05$ ). Hal ini mengindikasikan bahwa produksi bahan organik yang dihasilkan dari serasah, batang, daun, cabang, kulit pada kedua plot tidak jauh berbeda.

Sedangkan hasil analisis keragaman kandungan karbon tanah berdasarkan kedalaman pada 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, dan 20-30 cm (Tabel 2 dan Tabel 4 pada Lampiran) pada masing-masing plot menunjukkan perbedaan nyata (ANOVA satu arah,  $p < 0,01$ ). Hasil uji HSD-Tukey Kramer menunjukkan bahwa jumlah kandungan karbon pada setiap lapisan tanah (0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm) berbeda satu sama lainnya.

Hal ini mengindikasikan bahwa laju dekomposisi bahan organik tidak sama pada setiap kedalaman, baik pada plot *P. falcataria* maupun pada vegetasi *baseline*, sehingga terjadi keragaman hasil kandungan karbon pada masing-masing lapisan.

Menurut Sanchez (1976), laju dekomposisi bahan organik (serasah, daun, cabang, kulit, buah, batang yang melapuk) dari vegetasi pada lahan suatu areal menjadi C-organik tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu tambahan bahan organik segar ke dalam tanah, kecepatan dekomposisi bahan organik, serta kecepatan konversi bahan organik segar menjadi C-organik tanah. Kandungan karbon tanah pada lapisan paling atas suatu profil tanah lebih tinggi daripada lapisan yang lebih dalam karena perkem-

bangsan struktur tanah pada lapisan tanah kemungkinan besar dipengaruhi oleh jumlah kandungan bahan organik tanah yang lebih tinggi, perkembangan akar yang lebih cepat, serta kegiatan fauna tanah (fungi dan mikroba).

Diagram batang kandungan karbon tanah di bawah tegakan *P. falcataria* dan vegetasi *baseline* pada kedalaman berbeda diilustrasikan pada Gambar 1.

## **B. Kerapatan Tanah (BD) di Bawah Tegakan *P. falcataria* dan Vegetasi *Baseline***

Tabel 5 pada Lampiran merangkum data kerapatan tanah di bawah tegakan *P. falcataria* dan vegetasi *baseline* pada kedalaman berbeda yang meliputi nilai rerata kandungan karbon, simpangan baku (SD), dan koefisien keragaman (CV) pada setiap kedalaman 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, dan 20-30 cm.

Kerapatan tanah pada kedalaman 0-30 cm di bawah tegakan *P. falcataria* dan vegetasi *baseline*, yaitu berturut-turut 0,83-0,86 g/cc dan 0,73-0,76 g/cc. Analisis keragaman kerapatan tanah (Tabel 5 dan Tabel 6 pada Lampiran) berdasarkan plot menunjukkan perbedaan yang nyata (ANOVA satu arah,  $p < 0,0001$ ). Kerapatan tanah yang lebih tinggi pada plot *P. falcataria* diduga karena pengaruh aktivitas manusia pada lahan tersebut (misalnya pengambilan kayu bakar, penggembalaan, dan pengambilan pakan ternak) sehingga terjadi pemadatan. Bila tanah lebih padat maka kerapatan tanah akan lebih tinggi. Hasil penelitian Ohta dan Effendi (1992) menjelaskan bahwa kerapatan tanah pada jenis tanah Ultisols di Kalimantan Timur sangat dipengaruhi oleh kandungan liatnya, dan perbedaan nilai kerapatan tanah antara plot *P. falcataria* dan plot vegetasi *baseline* pada penelitian ini mungkin juga disebabkan oleh perbedaan kandungan liat tanahnya. Sedangkan analisis keragaman kerapatan tanah berdasarkan kedalaman pada 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, dan 20-30 cm



(Tabel 5 dan Tabel 7 pada Lampiran) pada masing-masing plot tidak menunjukkan perbedaan nyata (ANOVA satu arah,  $p > 0,05$ ). Hal ini mengindikasikan bahwa solum tanah pada masing-masing plot cukup dalam serta sifat fisik tanahnya relatif sama hingga kedalaman 0-30 cm.

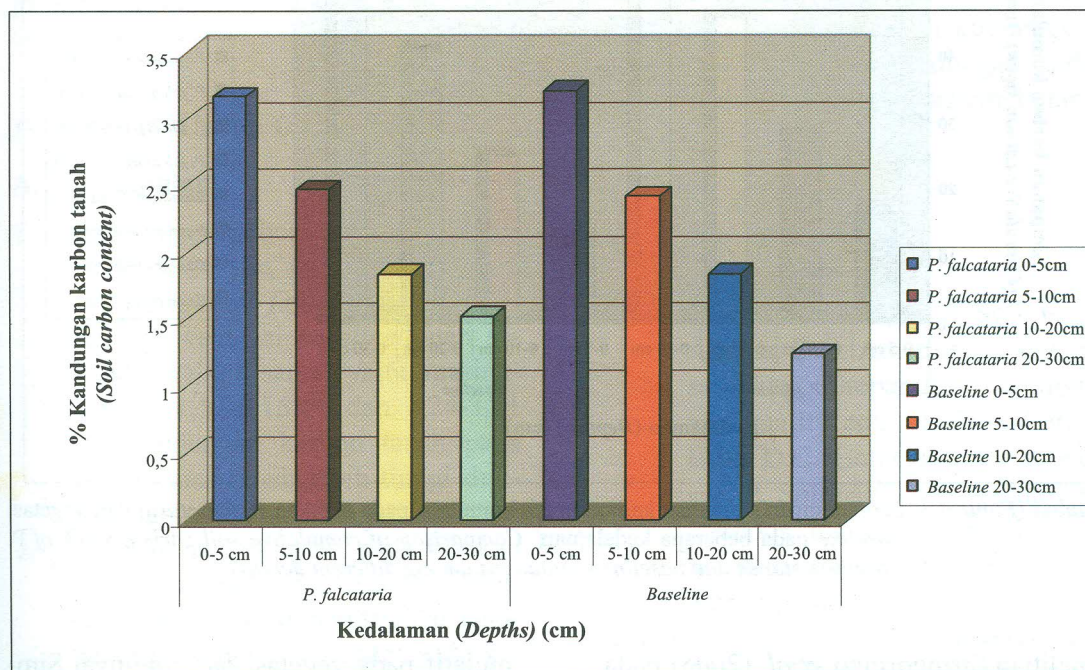
Diagram batang kerapatan tanah di bawah tegakan *P. falcataria* dan vegetasi *baseline* pada kedalaman yang berbeda diilustrasikan pada Gambar 2.

### C. Simpanan Karbon Tanah di Bawah Tegakan *P. falcataria* dan Vegetasi *Baseline*

Data simpanan karbon tanah kumulatif di bawah tegakan *P. falcataria* dan vegetasi *baseline* (Tabel 7 pada Lampiran), yaitu meliputi nilai rerata, simpangan baku (SD), dan koefisien keragaman (CV) pada kedalaman 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, dan 20-30 cm.

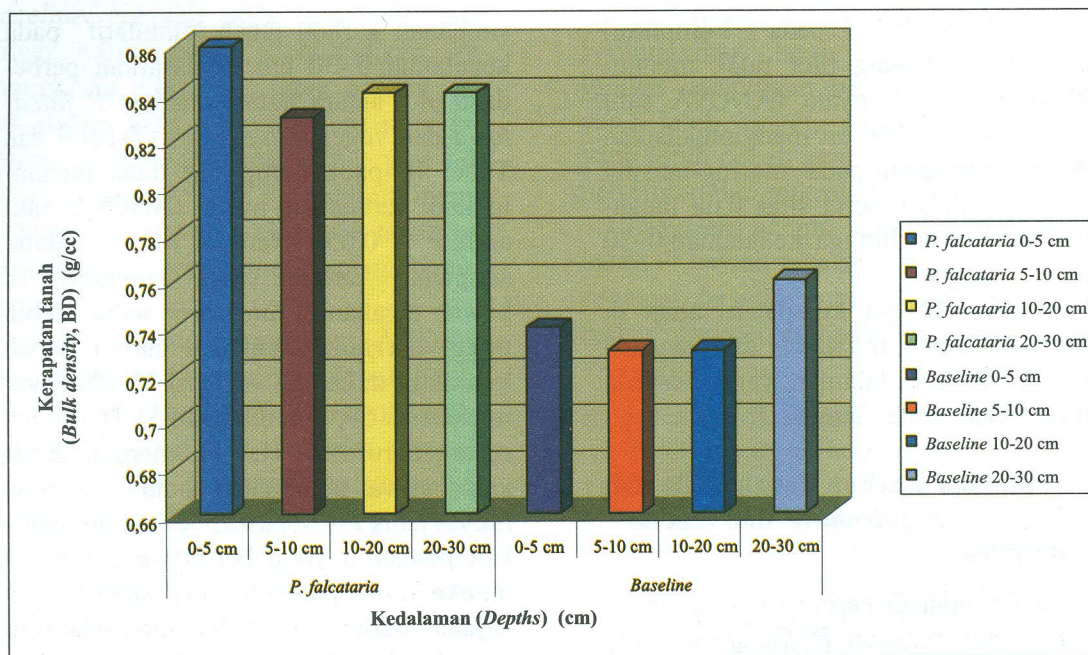
Hasil analisis keragaman (ANOVA)

simpanan karbon tanah kumulatif pada kedalaman 0-30 cm berdasarkan perbedaan plot antara hutan tanaman *P. falcataria* dan vegetasi *baseline* (Tabel 9 dan Tabel 10 pada Lampiran) tidak menunjukkan perbedaan nyata (ANOVA satu arah,  $P > 0,05$ ). Namun secara umum, simpanan karbon tanah kumulatif di bawah tegakan *P. falcataria* sedikit lebih tinggi daripada simpanan karbon tanah kumulatif di bawah vegetasi *baseline*, yaitu sebesar 59,43 ton/ha dan 51,16 ton/ha, secara berurutan. Hal ini mengindikasikan bahwa pembuatan hutan tanaman rakyat jenis *P. falcataria* belum memberikan pengaruh yang berarti terhadap peningkatan simpanan karbon tanah hingga tegakan berumur 6-7 tahun, dan selain itu mungkin juga karena terjadi keseimbangan antara pemasukan bahan organik yang ditambahkan dari sistem tegakan hutan dan bahan organik yang hilang dari lahan hutan tanaman *P. falcataria* maupun vegetasi hutan sekunde Sementara hasil

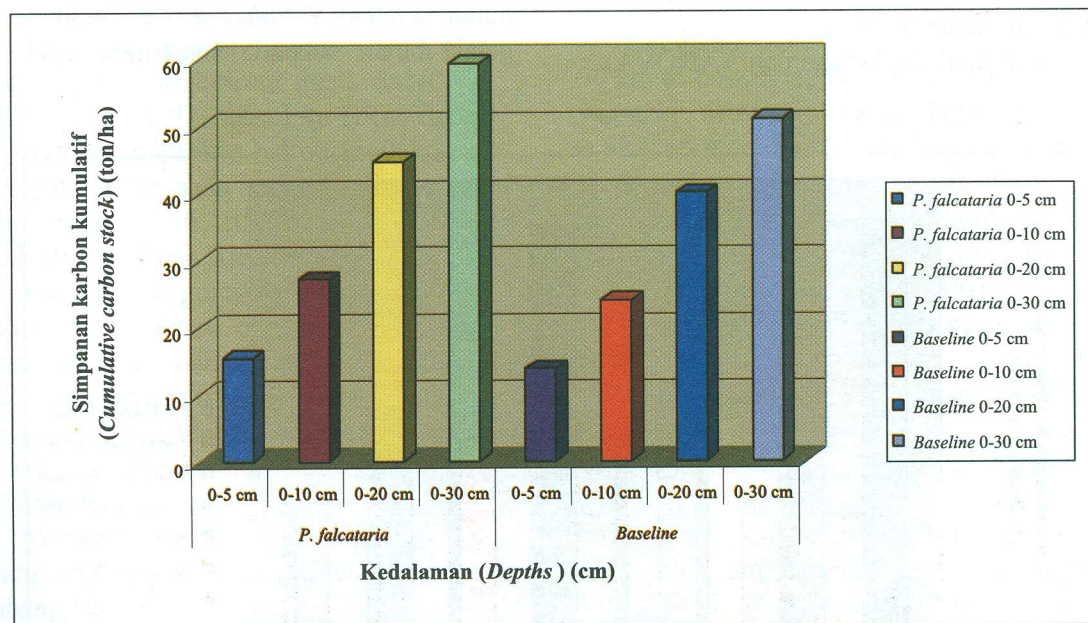


Gambar (Figure) 1. Perbandingan kandungan karbon tanah antara tegakan *P. falcataria* dan vegetasi *baseline* pada beberapa kedalaman (Comparison of soil carbon content of *P. falcataria* stands and baseline vegetations among different depths)





Gambar (Figure) 2. Perbandingan kerapatan tanah (BD) antara tegakan *P. falcataria* dan vegetasi *baseline* pada beberapa kedalaman( Comparison of soil bulk density of *P. falcataria* stands and *baseline* vegetations among different depths)



Gambar (Figure) 3. Perbandingan simpanan karbon tanah kumulatif pada tegakan *P. falcataria* dan vegetasi *baseline* pada beberapa kedalaman( Comparison of cumulative soil carbon stock of *P. falcataria* stands and *baseline* vegetations among different depths)

penelitian Siringoringo *et al.* (2005) pada hutan tanaman *Pinus merkusii* menunjukkan bahwa simpanan karbon kumulatif pada hutan tanaman *P. merkusii* lebih besar daripada simpanan karbon tanah ku-

mulatif pada vegetasi *baseline*-nya. Simpanan karbon tanah kumulatif pada hutan *P. merkusii* dengan tipe tanah Nitosols pada kedalaman 0-30 cm sebesar 100 ton/ha; 99,2 ton/ha; 84 ton/ha pada tegak-



an umur 0 tahun (tahun tanam 2001), umur satu tahun dan umur dua tahun, secara berurutan. Sementara simpanan karbon tanah kumulatif pada vegetasi *baseline*-nya dengan tipe tanah yang sama dan kedalaman yang sama dan diukur secara periodik selama tiga tahun sebesar 54,17 ton/ha; 60,26 ton/ha; dan 49,7 ton/ha pada tahun 2001, 2002, dan 2003 secara berurutan.

Sedangkan hasil analisis keragaman (ANOVA) simpanan karbon tanah kumulatif berdasarkan masing-masing kedalaman pada plot tegakan *P. falcataria* maupun vegetasi *baseline* (Tabel 8 dan Tabel 10 pada Lampiran) menunjukkan perbedaan yang nyata (ANOVA satu arah,  $P < 0,01$ ).

Hasil uji HSD-Tukey Kramer menunjukkan bahwa simpanan karbon tanah kumulatif pada setiap lapisan tanah (0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm) berbeda satu sama lainnya.

Diagram batang simpanan karbon tanah kumulatif di bawah tegakan *P. falcataria* dan vegetasi *baseline* pada beberapa kedalaman diilustrasikan pada Gambar 3.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

1. Kandungan karbon tanah pada kedalaman 0-30 cm di bawah tegakan *Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen dan vegetasi *baseline*/hutan sekunder relatif sama, yaitu masing-masing 1,52-3,16 % dan 1,24-3,21 %. Kandungan karbon tanah pada lapisan atas tanah lebih tinggi daripada lapisan yang lebih bawah.
2. Nilai kerapatan tanah pada tegakan *Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen lebih tinggi daripada nilai kerapatan pada hutan sekunder pada kedalaman 0-30 cm, yaitu berturut-turut 0,83-0,86 g/cc dan 0,73-0,76 g/cc. Sedangkan kerapatan tanah pada masing-masing lapisan tanah hingga kedalaman 0-30 cm di ba-

wah tegakan *Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen maupun hutan sekunder tidak menunjukkan perbedaan nyata.

3. Sistem tegakan hutan tanaman rakyat jenis *Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen belum memberikan pengaruh yang berarti terhadap peningkatan simpanan karbon tanah kumulatif hingga tegakan berumur 6-7 tahun berdasarkan uji statistik. Simpanan karbon tanah kumulatif pada kedalaman 0-30 cm di bawah tegakan *Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen dan hutan sekunder masing-masing sebesar 59,43 ton/ha dan 51,16 ton/ha.

##### B. Saran

Penelitian perubahan kandungan karbon tanah ini perlu dikembangkan lebih lanjut dan dititik-beratkan berdasarkan perbandingan jenis vegetasi/pohon, tipe tanah, iklim, topografi, serta sistem pengelolaan lahan yang diterapkan. Dengan demikian pada akhirnya akan didapat suatu *database* yang lebih komprehensif mengenai perubahan kandungan karbon tanah pada berbagai ekosistem hutan di Indonesia.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Boone, R.D., D.F. Grigal, P. Sollins, R.J. Ahrens, 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. Oxford Univ. Press, New York : p. 3-28
- 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.



- Jenkinson, D.S. 2001. Global warming. ESI Special Topics. Diakses dari [www.esi.topics.com/gwarm/interviews/David\\_Jenkinson.html](http://www.esi.topics.com/gwarm/interviews/David_Jenkinson.html). tgl 12/06/2006 : pp.4
- Ohta, S. and Effendi. 1992. Ultisols of "lowland dipterocarp forest" in East Kalimantan, Indonesia, I. Morphology and Physical Properties, Soil Sci Plant Nutr. No. 38.
- Ohta, S. 2001. Outlined pro-cedure 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).
- Pignard, G., J.L Dupouney, D. Arrouays, D. Laustau. 2000. Carbon stocks estimates for french forests. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 4 (4) : p. 285-289.
- Post, W.M. and K.C. Kwon. 2000. Soil carbon sequestration and land-use change : Process and potential. Global Change Biology 6 : 317-328.
- Post, W.M., R.C. Izaurralde, J.D. Jastrow, B.A. McCarl, J.E. Amonette, V.L. Bailey, P.M. Jardine, T.O. West, J. Zhou. 2006. Enhancement of carbon sequestration in U.S. Soils. Bioscience, Version 3. Diakses dari [www.agecon2.tamu.edu/people/faculty/mccarl-bruce/papers/1049.pdf](http://www.agecon2.tamu.edu/people/faculty/mccarl-bruce/papers/1049.pdf). tgl 15/6/2006 : pp. 26.
- 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 : 417- 421.
- Schmidt, F.H. and J.H.A. Ferguson. 1951. Rainfall types based on wet and dry period ratio for Indonesia with Western New Guinea. Verh. No. 42, Jawatan Meteorologi Geofisika. Jakarta.
- Siringoringo, H.H., C.A. Siregar and H. Hatori. 2003. Analysis of soil carbon stock of *Acacia mangium* plantation in Maribaya, West Java. Buletin Penelitian Hutan. Edi-si Khusus, Karbon. No. 634/2003. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam, Bogor : p. 59-78.
- Siringoringo, H.H. and C.A. Siregar. 2005. Annual cumulative of soil carbon change in *Pinus merkusii* plantation in Cianten, West Java. Journal of Forestry. Vol.2 No.2, July 2005. Ministry of Forestry Research and Development Agency, Jakarta, Indonesia : p. 117-128.
- Stevens, A. 2006. Detection of carbon stock change in agricultural soil with VIS-NIR-SWIR spectroscopy and airborne-hyperspectral remote sensing. UCL/GEO, Unite de geographie. Diakses dari [www.geo.ucl.ac.be/Recherche/Geophysique/Projects/Stevens\\_1.html](http://www.geo.ucl.ac.be/Recherche/Geophysique/Projects/Stevens_1.html). tgl 12/6/2006 : pp.7.
- Trumbore, S.E., 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. Diakses dari [www.epa.gov/sequestration/faq.html](http://www.epa.gov/sequestration/faq.html). tgl 13/06/2006 : pp.6.



**Lampiran (Appendix)**

Tabel (Table) 2. Kandungan karbon tanah pada beberapa kedalaman yang berbeda pada dua plot yang berbeda dan jumlah contoh yang dibutuhkan pada level kepercayaan 95 % (*Carbon content at different soil depths in two different plots and required sample number at 95 % confidence*)

Plot (Plot)	Kedalaman (Depth) (cm)	Jumlah contoh (Number of sample)	Kandungan karbon ( <i>Carbon content</i> )			Jumlah contoh yang dibutuhkan (Required sample number)
			Rerata <sup>1)</sup> (Mean) (%)	SD (Standard deviation) (%)	CV (Coefficient variation) (%)	
Tegakan <i>P. falcataria</i> ( <i>P. falcataria</i> plantation)	0-5	10	3,16 a	0,29	8,82	12
	5-10	10	2,47 b	0,25	10,15	16
	10-20	10	1,84 c	0,29	15,96	39
	20-30	10	1,52 d	0,33	22,04	75
Vegetasi baseline ( <i>Baseline</i> vegagation)	0-5	16	3,21 a	0,36	11,31	20
	5-10	16	2,42 b	0,40	16,59	42
	10-20	16	1,84 c	0,59	32,06	158
	20-30	16	1,24 d	0,21	16,92	44

Keterangan (*Remarks*):

1) Rerata di dalam satu baris dalam kolom yang sama diikuti huruf yang berbeda adalah berbeda nyata (Uji HSD-Tukey Kramer,  $p < 0,05$ ) (*Means in a row in the same column followed by the different letter are significantly different by Tukey-Kramer HSD test,  $p < 0.05$* ).

Tabel (Table) 3. Analisis keragaman kandungan karbon tanah berdasarkan plot tegakan *P. falcataria* dan vegetasi baseline (*Analysis of variance of carbon content by plots of P. falcataria plantation and baseline vegetation*)

Sumber keragaman ( <i>Source of variation</i> )	Db ( <i>df</i> )	Jumlah kuadrat ( <i>Sum of square</i> )	Rataan kuadrat ( <i>Mean of square</i> )	F-rasio ( <i>F-ratio</i> )	Prob > F
Plot ( <i>Plot</i> )	1	0,0168	0,0168	0,0285	0,8678
Galat ( <i>Error</i> )	18	10,6227	0,5901		
Total terkoreksi ( <i>Corrected total</i> )	19	10,6394			

Tabel (Table) 4. Analisis keragaman kandungan karbon tanah berdasarkan kedalaman (*Analysis of variance of soil carbon content by depths*)

Sumber keragaman ( <i>Source of variation</i> )	Db ( <i>df</i> )	Jumlah kuadrat ( <i>Sum of square</i> )	Rataan kuadrat ( <i>Mean of square</i> )	F-rasio ( <i>F-ratio</i> )	Prob > F
Kedalaman ( <i>Depth</i> )	3	10,0086	3,3360	84,5311	<,0001
Galat ( <i>Error</i> )	16	0,6314	0,0395		
Total terkoreksi ( <i>Corrected total</i> )	19	10,6394			



**Lampiran (Appendix)**

Tabel (Table) 2. Kandungan karbon tanah pada beberapa kedalaman yang berbeda pada dua plot yang berbeda dan jumlah contoh yang dibutuhkan pada level kepercayaan 95 % (*Carbon content at different soil depths in two different plots and required sample number at 95 % confidence*)

Plot (Plot)	Kedalaman (Depth) (cm)	Jumlah contoh (Number of sample)	Kandungan karbon ( <i>Carbon content</i> )			Jumlah contoh yang dibutuhkan (Required sample number)
			Rerata <sup>1)</sup> (Mean) (%)	SD (Standard deviation) (%)	CV (Coefficient variation) (%)	
Tegakan <i>P. falcataria</i> ( <i>P. falcataria</i> <i>plantation</i> )	0-5	10	3,16 a	0,29	8,82	12
	5-10	10	2,47 b	0,25	10,15	16
	10-20	10	1,84 c	0,29	15,96	39
	20-30	10	1,52 d	0,33	22,04	75
Vegetasi <i>baseline</i> ( <i>Baseline</i> <i>vegetation</i> )	0-5	16	3,21 a	0,36	11,31	20
	5-10	16	2,42 b	0,40	16,59	42
	10-20	16	1,84 c	0,59	32,06	158
	20-30	16	1,24 d	0,21	16,92	44

Keterangan (*Remarks*):

1) Rerata di dalam satu baris dalam kolom yang sama diikuti huruf yang berbeda adalah berbeda nyata (Uji HSD-Tukey Kramer,  $p < 0,05$ ) (*Means in a row in the same column followed by the different letter are significantly different by Tukey-Kramer HSD test,  $p < 0.05$* ).

Tabel (Table) 3. Analisis keragaman kandungan karbon tanah berdasarkan plot tegakan *P. falcataria* dan vegetasi *baseline* (*Analysis of variance of carbon content by plots of *P. falcataria* plantation and baseline vegetation*)

Sumber keragaman ( <i>Source of variation</i> )	Db ( <i>df</i> )	Jumlah kuadrat ( <i>Sum of square</i> )	Rataan kuadrat ( <i>Mean of square</i> )	F-rasio ( <i>F-ratio</i> )	Prob > F
Plot ( <i>Plot</i> )	1	0,0168	0,0168	0,0285	0,8678
Galat ( <i>Error</i> )	18	10,6227	0,5901		
Total terkoreksi ( <i>Corrected total</i> )	19	10,6394			

Tabel (Table) 4. Analisis keragaman kandungan karbon tanah berdasarkan kedalaman (*Analysis of variance of soil carbon content by depths*)

Sumber keragaman ( <i>Source of variation</i> )	Db ( <i>df</i> )	Jumlah kuadrat ( <i>Sum of square</i> )	Rataan kuadrat ( <i>Mean of square</i> )	F-rasio ( <i>F-ratio</i> )	Prob > F
Kedalaman ( <i>Depth</i> )	3	10,0086	3,3360	84,5311	<,0001
Galat ( <i>Error</i> )	16	0,6314	0,0395		
Total terkoreksi ( <i>Corrected total</i> )	19	10,6394			



Tabel (Table) 5. Kerapatan tanah pada kedalaman yang berbeda pada dua plot yang berbeda dan jumlah contoh yang dibutuhkan pada level kepercayaan 95 % (*Bulk density at different depths in two different plots and required sample number at 95 % confidence*)

Plot (Plot)	Kedalaman (Depth) (cm)	Jumlah contoh (Number of sample)	Kerapatan tanah ( <i>Bulk density</i> )			Jumlah contoh yang dibutuhkan (Required sample number)
			Rerata <sup>1)</sup> (Mean) (g/cc)	SD (Standard deviation) (g/cc)	CV (Coefficient variation) (%)	
Hutan tanaman <i>P.</i> <i>falcataria</i> ( <i>P. falcataria</i> <i>plantation</i> )	0-5	10	0,86 a	0,06	7,40	8
	5-10	10	0,83 a	0,07	7,90	10
	10-20	10	0,84 a	0,09	10,41	17
	20-30	10	0,84 a	0,09	11,44	20
Vegetasi baseline (Baseline vegeation)	0-5	16	0,74 b	0,05	7,39	8
	5-10	16	0,73 b	0,06	8,12	10
	10-20	16	0,73 b	0,07	9,55	14
	20-30	16	0,76 b	0,07	9,16	13

Keterangan (*Remarks*):

- 1) Rerata di dalam baris dalam kolom yang sama diikuti huruf yang tidak sama menunjukkan perbedaan nyata (Uji HSD-Tukey Kramer,  $p < 0,05$ ) (*Means in a row in the same column followed by the different letter denote significantly difference by Tukey-Kramer HSD test,  $p < 0.05$* ).

Tabel (Table) 6. Analisis keragaman kerapatan tanah berdasarkan plot (*Analysis of variance of bulk density 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)	1	0,0316	0,0316	25,1483	<,0001
Galat (Error)	18	0,02261	0,0013		
Total terkoreksi (Corrected total)	19	0,0542			

Tabel (Table) 7. Analisis keragaman kerapatan tanah berdasarkan kedalaman (*Analysis of variance of soil bulk density by depths*)

Sumber keragaman (Source of variation)	Db (df)	Jumlah kuadrat (Sum of square)	Rataan kuadrat (Mean of square)	F-rasio (F-ratio)	Prob > F
Kedalaman (Depth)	3	0,0023	0,0008	0,1973	0,8970
Galat (Error)	20	0,0783	0,0039		
Total terkoreksi (Corrected total)	23	0,0806			



Tabel (Table) 8. Simpanan karbon tanah kumulatif pada kedalaman yang berbeda pada dua plot yang berbeda dan jumlah contoh yang dibutuhkan pada level kepercayaan 95 % (*Cumulative soil carbon stock at different depths in two different plots and required sample number at 95 % confidence*)

Plot (Plot)	Kedalaman (Depth) (cm)	Jumlah contoh (Number of sample)	Simpanan karbon tanah ( <i>Cumulative soil carbon stock</i> )			Jumlah contoh yang dibutuhkan (Required sample number)
			Rerata <sup>1)</sup> (Mean) (ton/ha)	SD (Standard deviation) (ton/ha)	CV (Coefficient variation) (%)	
Hutan tanaman <i>P. falcataria</i> ( <i>P. falcataria</i> <i>plantation</i> )	0-5	10	15,43 a	1,30	8,41	11
	5-10	10	27,24 b	2,32	8,52	11
	10-20	10	44,85 c	3,45	7,69	9
	20-30	10	59,43 d	3,40	5,72	5
Vegetasi <i>baseline</i> ( <i>Baseline</i> <i>vegetation</i> )	0-5	16	13,84 a	1,44	10,42	17
	5-10	16	24,11 b	2,39	9,89	15
	10-20	16	40,09 c	4,39	10,95	18
	20-30	16	51,16 d	4,10	8,01	10

Keterangan (Remarks):

- 1) Rerata di dalam baris dalam kolom yang sama diikuti huruf yang tidak sama menunjukkan perberdaan yang nyata (Uji HSD-Tukey Kramer,  $p < 0,05$ ) (*Means in a row in the same column followed by the different letter denote significantly difference by Tukey-Kramer HSD test,  $p < 0.01$* )

Tabel (Table) 9. Analisis keragaman simpanan karbon kumulatif tanah berdasarkan plot (*Analysis of variance of cumulative carbon stock 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)	1	63,1724	61,1724	0,2466	0,6255
Galat (Error)	18	4.611,6987	256,2050		
Total terkoreksi (Corrected total)	19	4.674,8711			

Tabel (Table) 10. Analisis keragaman simpanan karbon tanah kumulatif berdasarkan kedalaman (*Analysis of variance of cumulative carbon stock by depths*)

Sumber keragaman (Source of variation)	Db (df)	Jumlah kuadrat (Sum of square)	Rataan kuadrat (Mean of square)	F-rasio (F-ratio)	Prob > F
Kedalaman (Depth)	3	5.515,86	1.838,62	84,49	<,0001
Galat (Error)	20	435,21	21,76		
Total terkoreksi (Corrected total)	23	5.951,07			