

PETUNJUK  
PRAKTIS



PENGUKURAN  
“KARBON TERSIMPAN”

DI BERBAGAI MACAM  
PENGUNAAN LAHAN

KURNIATUN HAIRIAH

SUBEKTI RAHAYU

WORLD AGROFORESTRY CENTRE

**Petunjuk praktis**



Pengukuran  
'karbon tersimpan'  
di berbagai macam  
penggunaan lahan

*Kurniatun Hairiah dan Subekti Rahayu*

---

*Sitasi*

Hairiah K, Rahayu S. 2007. Pengukuran 'karbon tersimpan' di berbagai macam penggunaan lahan. Bogor. World Agroforestry Centre - ICRAF, SEA Regional Office, University of Brawijaya, Unibraw, Indonesia. 77 p.

---

*ISBN*

979-3198-35-4

---

*Copyright*

World Agroforestry Centre, ICRAF Southeast Asia

---

*Kontak detail*

Kurniatun Hairiah (safods.unibraw@telkom.net or k.hairiah@cgiar.org) and Subekti Rahayu (s.rahayu@cgiar.org)

World Agroforestry Centre  
ICRAF Southeast Asia Regional Office  
Jl. CIFOR, Situ gede, Sindang Barang  
PO Box 161, Bogor, 16001, Indonesia  
Tel: +62 251 625415  
Fax: +62 251 625416  
[www.worldagroforestrycentre.org/sea](http://www.worldagroforestrycentre.org/sea)

---

*Tata letak*

Tikah Atikah

2007

# Kata pengantar

Perubahan iklim global pada dekade terakhir ini terjadi karena terganggunya keseimbangan energi antara bumi dan atmosfer akibat meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca (GRK), terutama karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ). Indonesia sebagai negara penyumbang  $\text{CO}_2$  terbesar ketiga di dunia (Wetland Internasional, 2006), dengan emisi  $\text{CO}_2$  rata-rata per tahun 3000 Mt atau berarti telah menyumbangkan sekitar 10% dari total emisi  $\text{CO}_2$  di dunia (Seputar Indonesia, 24 Maret 2007). Meningkatnya konsentrasi  $\text{CO}_2$  disebabkan oleh pengelolaan lahan yang kurang tepat, antara lain pembakaran hutan dalam skala luas secara bersamaan dan pengeringan lahan gambut untuk pembukaan lahan-lahan pertanian.

Hutan alami merupakan penyimpan karbon (C) tertinggi bila dibandingkan dengan sistem penggunaan lahan pertanian. Oleh karena itu, hutan alami dengan keragaman jenis pepohonan berumur panjang dan seresah yang banyak merupakan gudang penyimpan C tertinggi. Bila hutan diubah fungsinya menjadi lahan-lahan pertanian atau perkebunan atau ladang penggembalaan maka jumlah C tersimpan akan merosot. Jumlah C tersimpan antar lahan tersebut berbeda-beda, tergantung pada keragaman dan kepadatan tumbuhan yang ada, jenis tanahnya serta cara pengelolaannya.

Indonesia memiliki berbagai macam penggunaan lahan, mulai dari yang paling ekstensif misalnya agroforestri kompleks yang menyerupai hutan, hingga paling intensif seperti sistem pertanian semusim monokultur. Pengukuran secara kuantitatif C tersimpan dalam berbagai macam penggunaan lahan perlu dilakukan. Untuk itu diperlukan metoda pengukuran standard yang baku dan telah dipergunakan secara luas, agar hasilnya dapat dibandingkan antar lahan dan antar lokasi.

Buku ini memberikan informasi mengenai latar belakang mengapa penyimpanan C perlu diukur dan apa saja yang diukur untuk mengetahui penyimpanan C pada suatu lahan. Metoda pengukuran C ini merupakan metoda standard yang digunakan oleh kelompok peneliti yang tergabung dalam jaringan international Alternatives to Slash and Burn (ASB). Secara rinci, buku ini juga memaparkan bagaimana cara mengukur penyimpanan C pada tingkat plot maupun tingkat kawasan, sehingga dapat digunakan sebagai panduan bagi petugas lapangan dan pengambil kebijakan dalam memahami masalah perubahan iklim global.

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Proyek ADSB (Avoided Deforestation and Carbon emissions with Sustainable Benefits) yang telah memberikan dana sehingga buku pedoman ini dapat terbit. Selain itu juga kepada Betha Lusiana yang telah mendorong dan mengusahakan pendanaan untuk terbitnya buku ini dan kepada Tikah Atikah yang telah membuat design tata letak buku ini.

# Daftar isi

Daftar Gambar	iv
Daftar Foto	v
Foto Kredit	vi
<b>1. Mengapa C tersimpan perlu diukur?</b>	<b>3</b>
<b>2. Apa saja yang diukur ?</b>	<b>9</b>
<b>3. Bagaimana cara mengukur karbon tersimpan?</b>	<b>15</b>
3.1. Mengukur biomasa tanaman	15
3.1.1. Membuat plot contoh pengukuran	17
3.1.2. Mengukur biomasa pohon	19
<i>Contoh penghitungan</i>	30
3.1.3. Estimasi C tersimpan dalam akar tanaman	31
3.1.4. Mengukur biomasa tumbuhan bawah ('understorey')	32
<i>Contoh perhitungan</i>	35
3.2. Mengukur 'nekromasa' yang ada di permukaan tanah	36
3.2.1. Nekromasa berkayu	36
3.2.2. Nekromasa tidak berkayu	39
<b>4. Penghitungan jumlah C tersimpan per lahan</b>	<b>47</b>
Contoh penyajian hasil pengukuran C tersimpan pada berbagai sistem penggunaan lahan	47
<b>5. Data penunjang yang dibutuhkan</b>	<b>51</b>
5.1. Sejarah penggunaan lahan, pengelolaan lahan dan iklim	51
5.2. Tanah	52
5.2.1. Pengambilan Contoh Tanah Terganggu	53
5.1.2. Cara pengambilan contoh tanah "utuh" (tidak terganggu)	54
<b>6. Bagaimana menghitung jumlah C tersimpan di tingkat kawasan?</b>	<b>59</b>
6.1. Perhitungan C tersimpan dalam satu siklus tanaman	59
6.2. Peningkatan C-rata-rata dalam sistem agroforestri	62
6.3. Bagaimana menghitung jumlah rata-rata C tersimpan pada skala nasional	64
<b>Daftar Pustaka</b>	<b>71</b>
<b>Lampiran</b>	<b>73</b>

# Daftar gambar

- Gambar 1. Skematis pohon sebagai penyerap CO<sub>2</sub> melalui proses fotosintesis
- Gambar 2. SUB-PLOT contoh untuk pengukuran biomasa dan nekromasa
- Gambar 3. Cara pengukuran lilit batang pohon menggunakan pita pengukur (A), tampak atas pengukuran dbh pohon menggunakan jangka sorong (B)
- Gambar 4. Skematis cara menentukan ketinggian pengukuran dbh batang pohon yang tidak beraturan bentuknya (Weyerhaeuser dan Tennigkeit, 2000).
- Gambar 5. Skema estimasi diameter pohon yang berbanir tinggi berdasarkan pendekatan geometri
- Gambar 6. Berbagai cara pengukuran tonggak tanaman hidup.
- Gambar 7. Bentuk kuadran untuk pengambilan contoh tumbuhan bawah dan sekaligus seresah
- Gambar 8. Penempatan kuadran (TITIK CONTOH) dalam SUB PLOT
- Gambar 9. Pengukuran diameter dan panjang pohon roboh yang masuk dalam SUB PLOT pengamatan.
- Gambar 10. Penyimpanan C pada berbagai sistem penggunaan lahan di Jambi (Tomich *et al.*, 1998)
- Gambar 11. Diagram kehilangan C setelah penebangan vegetasi hutan ( $C_{\min}$ ) pada beberapa periode tanaman pangan,  $T_c$ , diikuti oleh periode penimbunan kembali C selama periode bera hingga tingkat maksimum ( $C_{\max}$ ), atau disebut pula periode regenerasi hutan  $T_r$  (Palm *et al.*, 1999)
- Gambar 12. Diagram kehilangan C selama penebangan hutan dan re-akumulasi C selama masa pertumbuhan dan masa produksi pada sistem berbasis pohon (Palm *et al.*, 1999)
- Gambar 13. Perubahan persentase penutupan lahan di daerah Sumberjaya, Lampung Barat.
- Gambar 14. Total penyimpanan C pada tingkat kawasan dari berbagai waktu pengukuran di Sumberjaya.

## Daftar foto

- Foto 1. Penyimpanan C dalam biomasa tanaman yaitu: pepohonan dan tumbuhan bawah di lahan hutan dan agroforestri (no. 1-4). Penyimpanan C dalam nekromasa kayu dan ranting, arang, seresah daun dan bahan organik serta bahan organik tanah. (No. 5-8)
- Foto 2. Pembuatan SUB-PLOT pengukuran penyimpanan C pada sistem agroforestri berbasis kopi, (1 dan 2) Pengukuran SUB-PLOT 5m x 40m, (2) Pembuatan siku SUB-PLOT, (3) Pemberian patok di sudut plot sebagai tanda bila plot akan dijadikan plot permanen.
- Foto 3. Pengukuran diameter batang (dbh) pohon: (1) pengukuran dbh pohon besar di hutan, (2) pengukuran dbh pohon bercabang, percabangan terjadi pada ketinggian <1.3m dari permukaan tanah, (3) pengukuran diameter batang pohon kelapa.
- Foto 4. Pengukuran dbh pohon yang benar dan salah
- Foto 5. Penentuan titik pengukuran dbh pohon bercabang rendah (1) dan pada pohon berbanir tinggi (2)
- Foto 6. Alat-alat yang dibutuhkan untuk mengambil contoh tumbuhan bawah, seresah dan tanah: (1) pita pengukur, (2) bingkai kuadran sebagai TITIK CONTOH untuk mengambil tumbuhan bawah dan seresah, (3) lempak baja, (4) kuadran baja dan ring baja, (5) cetok tanah
- Foto 7. Pengukuran nekromasa: (1) kayu yang ada di permukaan tanah, (2) seresah di permukaan tanah, (3) Pengambilan contoh tanah terganggu di lapisan atas
- Foto 8. Akar-akar halus yang terdapat di tanah lapisan atas (1) dan pemisahan tanah dan akar melalui pengayakan (2)
- Foto 9. Pengambilan contoh tanah utuh, (1) pembenaman ring besi ke dalam tanah, (2) pemotongan tanah di sekitar ring dan pengangkatan ke luar lubang, (3 dan 4) memotong kelebihan tanah pada ring hingga rata dengan permukaan ring, (5) memasukkan contoh tanah ke dalam kantong plastik dan pemberian label contoh tanah yang diambil.

## Foto kredit

No photo	Keterangan	Lokasi	Pengambil gambar
1	1-2 Pohon	Taman Nasional Ujung Kulon, Banten	Kurniatun Hairiah
2	Tumbuhan bawah hutan	Taman Nasional Halimun, Jawa Barat	M. van Noordwijk
3	Agroforestri kopi	Sumberjaya, Lampung Barat	Kurniatun Hairiah
4	Tumbuhan bawah ( <i>Arachis pintoi</i> ) Agroforestri kopi	Sumberjaya, Lampung Barat	Kurniatun Hairiah
5	Pembakaran lahan	Pakuan Ratu, Lampung Utara	M. van Noordwijk
6	Tunggul kayu dan arang setelah pembakaran hutan	Muara Bungo, Jambi	Quirine Kettering
7	Seresah hutan	Bogor	Kurniatun Hairiah
8	Bahan Organik terlapuk	Sumberjaya, Lampung Barat	Purwanto
2	1-3 Pembuatan plot pengamatan	Ngantang- Malang, Jawa Timur	Nina Dwi Lestari
3	1-3 Pengukuran diameter pohon	Bodogol-Sukabumi, Jawa Barat	Kusuma Wijaya
4	1-2 Pengukuran diameter pohon	Bodogol-Sukabumi, Jawa Barat	Kusuma Wijaya
5	1-2 Pengukuran diameter pohon	Suaka Margasatwa Nantu, Gorontalo	M. van Noordwijk & Rahmad Biki
6	Alat-alat untuk pengukuran	Bogor	Kurniatun Hairiah
7	1-3 Pengambilan contoh kayu, nekromasa dan tanah	Bodogol-Sukabumi, Jawa Barat	Kusuma Wijaya
8	1-2 Pemisahan akar dengan tanah	Suaka Margasatwa Nantu, Gorontalo	Kurniatun Hairiah
9	1-5 Pengambilan contoh tanah utuh	Suaka Margasatwa Nantu, Gorontalo	Kurniatun Hairiah

# 1. Mengapa C tersimpan perlu diukur?





# 1. Mengapa C tersimpan perlu diukur?

Perubahan iklim global yang terjadi akhir-akhir ini disebabkan karena terganggunya keseimbangan energi antara bumi dan atmosfer. Keseimbangan tersebut dipengaruhi antara lain oleh peningkatan gas-gas asam arang atau karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), metana ( $\text{CH}_4$ ) dan nitrous oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ) yang lebih dikenal dengan gas rumah kaca (GRK). Saat ini konsentrasi GRK sudah mencapai tingkat yang membahayakan iklim bumi dan keseimbangan ekosistem.

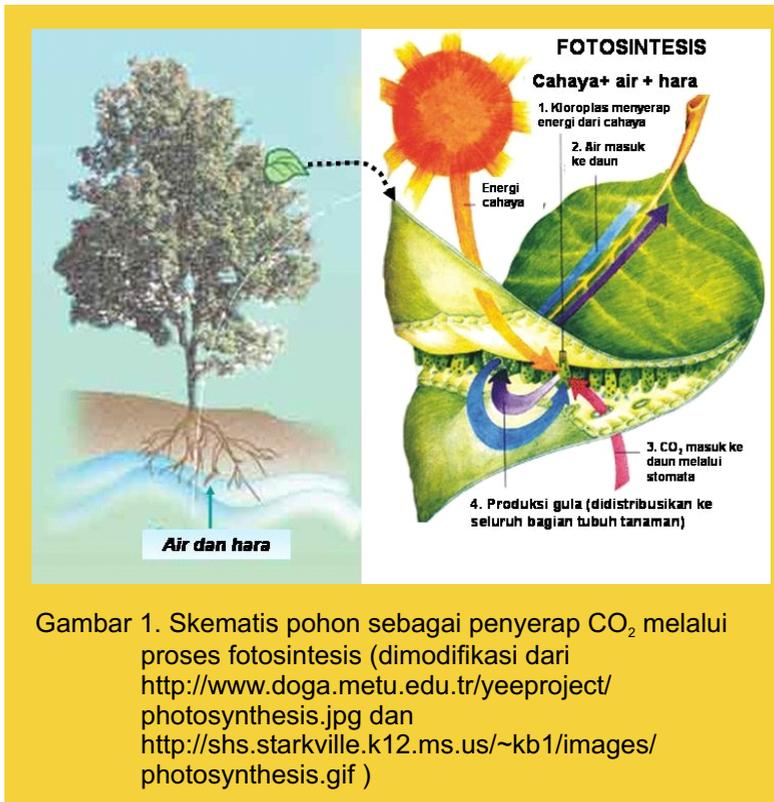
Konsentrasi GRK di atmosfer meningkat sebagai akibat adanya pengelolaan lahan yang kurang tepat, antara lain adanya pembakaran vegetasi hutan dalam skala luas pada waktu yang bersamaan dan adanya pengeringan lahan gambut. Kegiatan-kegiatan tersebut umumnya dilakukan pada awal alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian. Kebakaran hutan dan lahan serta gangguan lahan lainnya telah menempatkan Indonesia dalam urutan ketiga negara penghasil emisi  $\text{CO}_2$  terbesar di dunia. Indonesia berada di bawah Amerika Serikat dan China, dengan jumlah emisi yang dihasilkan mencapai dua miliar ton  $\text{CO}_2$  per tahunnya atau menyumbang 10% dari emisi  $\text{CO}_2$  di dunia (Wetland International, 2006).

Hutan alami merupakan penyimpan karbon (C) tertinggi bila dibandingkan dengan sistem penggunaan lahan (SPL) pertanian, dikarenakan keragaman pohonnya yang tinggi, dengan tumbuhan bawah dan seresah di permukaan tanah yang banyak.

Tumbuhan memerlukan sinar matahari, gas asam arang ( $\text{CO}_2$ ) yang diserap dari udara serta air dan hara yang diserap dari dalam tanah untuk kelangsungan hidupnya. Melalui proses fotosintesis,  $\text{CO}_2$  di udara diserap oleh tanaman dan



diubah menjadi karbohidrat, kemudian disebarkan ke seluruh tubuh tanaman dan akhirnya ditimbun dalam tubuh tanaman berupa daun, batang, ranting, bunga dan buah (Gambar 1). Proses penimbunan C dalam tubuh tanaman hidup dinamakan proses sekuestrasi (C- sequestration). Dengan demikian mengukur jumlah C yang disimpan dalam tubuh tanaman hidup (biomasa) pada suatu lahan dapat menggambarkan banyaknya CO<sub>2</sub> di atmosfer yang diserap oleh tanaman. Sedangkan pengukuran C yang masih tersimpan dalam bagian tumbuhan yang telah mati (nekromasa) secara tidak langsung menggambarkan CO<sub>2</sub> yang tidak dilepaskan ke udara lewat pembakaran.



Gambar 1. Skematis pohon sebagai penyerap CO<sub>2</sub> melalui proses fotosintesis (dimodifikasi dari <http://www.doga.metu.edu.tr/yeeproject/photosynthesis.jpg> dan <http://shs.starkville.k12.ms.us/~kb1/images/photosynthesis.gif> )



Tanaman atau pohon berumur panjang yang tumbuh di hutan maupun di kebun campuran (agroforestri) merupakan tempat penimbunan atau penyimpanan C (rosot C = *C sink*) yang jauh lebih besar dari pada tanaman semusim. Oleh karena itu, hutan alami dengan keragaman jenis pepohonan berumur panjang dan seresah yang banyak merupakan gudang penyimpan C tertinggi (baik di atas maupun di dalam tanah). Hutan juga melepaskan CO<sub>2</sub> ke udara lewat respirasi dan dekomposisi (pelapukan) seresah, namun pelepasannya terjadi secara bertahap, tidak sebesar bila ada pembakaran yang melepaskan CO<sub>2</sub> sekaligus dalam jumlah yang besar. Bila hutan diubah fungsinya menjadi lahan-lahan pertanian atau perkebunan atau ladang penggembalaan maka jumlah C tersimpan akan merosot. Berkenaan dengan upaya pengembangan lingkungan bersih, maka jumlah CO<sub>2</sub> di udara harus dikendalikan dengan jalan meningkatkan jumlah serapan CO<sub>2</sub> oleh tanaman sebanyak mungkin dan menekan pelepasan (emisi) CO<sub>2</sub> ke udara serendah mungkin. Jadi, mempertahankan keutuhan hutan alami, menanam pepohonan pada lahan-lahan pertanian dan melindungi lahan gambut sangat penting untuk mengurangi jumlah CO<sub>2</sub> yang berlebihan di udara. Jumlah 'C tersimpan' dalam setiap penggunaan lahan tanaman, seresah dan tanah, biasanya disebut juga sebagai 'cadangan C'.

Jumlah C tersimpan antar lahan berbeda-beda, tergantung pada keragaman dan kepadatan tumbuhan yang ada, jenis tanahnya serta cara pengelolaannya. Penyimpanan C suatu lahan menjadi lebih besar bila kondisi kesuburan tanahnya baik, atau dengan kata lain jumlah C tersimpan di atas tanah (biomasa tanaman) ditentukan oleh besarnya jumlah C tersimpan di dalam tanah (bahan organik tanah, BOT). Untuk itu pengukuran banyaknya C yang ditimbun dalam setiap lahan perlu dilakukan. Buku petunjuk ini disusun secara sederhana, menjelaskan langkah demi langkah cara pengukuran C tersimpan di lapangan menurut metoda standard yang digunakan oleh ASB (Alternatives to Slash and Burn), sehingga hasilnya dapat dibandingkan dengan hasil pengukuran pada sistem penggunaan lahan lainnya dari tempat dan waktu pengukuran yang berbeda.





## 2. Apa saja yang diukur?





## 2. Apa saja yang diukur?

Pada pengukuran jumlah C tersimpan di tingkat global ataupun kawasan dibutuhkan beberapa informasi C tersimpan di tingkat lahan (plot), yaitu:

- (1) Banyaknya C tersimpan (kuantitatif) yang ada saat ini, baik di atas maupun di dalam tanah, yang dapat mewakili salah satu sistem penutupan lahan sebagai bagian dari suatu sistem penggunaan lahan.
- (2) Banyaknya C tersimpan rata-rata per siklus tanam (time-averaged C stock) dari setiap sistem penggunaan lahan.

Dari kedua macam data pengukuran tersebut, maka dapat dilakukan ekstrapolasi besarnya C tersimpan di tingkat kawasan ataupun global.

### Karbon tersimpan di daratan

Pada ekosistem daratan, C tersimpan dalam 3 komponen pokok (foto 1-8), yaitu:

- *Biomasa*: masa dari bagian vegetasi yang masih hidup yaitu tajuk pohon, tumbuhan bawah atau gulma dan tanaman semusim
- *Nekromasa*: masa dari bagian pohon yang telah mati baik yang masih tegak di lahan (batang atau tunggul pohon), atau telah tumbang/tergeletak di permukaan tanah, tonggak atau ranting dan daun-daun gugur (seresah) yang belum terlapuk.
- *Bahan organik tanah*: sisa makhluk hidup (tanaman, hewan dan manusia) yang telah mengalami



pelapukan baik sebagian maupun seluruhnya dan telah menjadi bagian dari tanah. Ukuran partikel biasanya lebih kecil dari 2 mm.

Berdasarkan keberadaannya di alam, ketiga komponen C tersebut dapat dibedakan menjadi 2 kelompok yaitu:

A. Karbon di atas permukaan tanah, meliputi:

- *Biomasa pohon*. Proporsi terbesar penyimpanan C di daratan umumnya terdapat pada komponen pepohonan. Untuk mengurangi tindakan perusakan selama pengukuran, biomasa pohon dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan alometrik yang didasarkan pada pengukuran diameter batang.
- *Biomasa tumbuhan bawah*. Tumbuhan bawah meliputi semak belukar yang berdiameter batang < 5 cm, tumbuhan menjalar, rumput-rumputan atau gulma. Estimasi biomasa tumbuhan bawah dilakukan dengan mengambil bagian tanaman (melibatkan perusakan).
- *Nekromasa*. Batang pohon mati baik yang masih tegak atau telah tumbang dan tergeletak di permukaan tanah, yang merupakan komponen penting dari C dan harus diukur pula agar diperoleh estimasi penyimpanan C yang akurat.
- *Seresah*. Seresah meliputi bagian tanaman yang telah gugur berupa daun dan ranting-ranting yang terletak di permukaan tanah.

B. Karbon di dalam tanah, meliputi:

- *Biomasa akar*. Akar mentransfer C dalam jumlah besar langsung ke dalam tanah, dan keberadaannya dalam tanah bisa cukup lama. Pada tanah hutan biomasa akar lebih didominasi oleh akar-akar besar (diameter >2 mm), sedangkan pada tanah pertanian lebih didominasi oleh akar-akar halus yang lebih pendek daur hidupnya. Biomasa akar dapat pula



diestimasi berdasarkan diameter akar proksimal, sama dengan cara untuk mengestimasi biomasa pohon yang didasarkan pada diameter batang.

- *Bahan organik tanah.* Sisa tanaman, hewan dan manusia yang ada di permukaan dan di dalam tanah, sebagian atau seluruhnya dirombak oleh organisme tanah sehingga melapuk dan menyatu dengan tanah, dinamakan bahan organik tanah.



