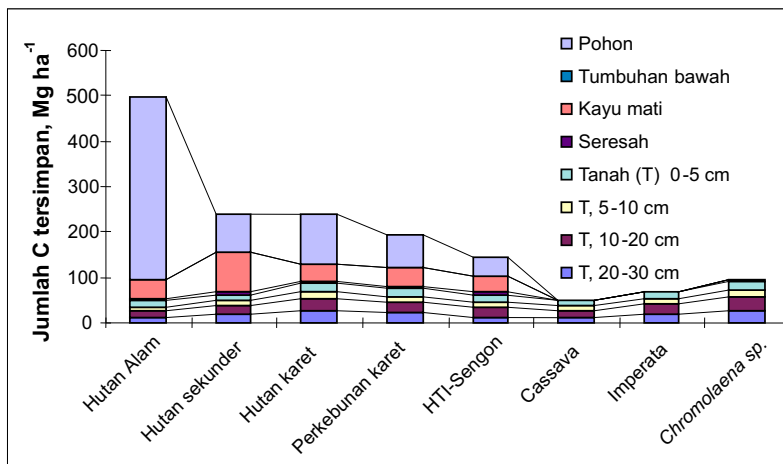


4. Penghitungan jumlah C tersimpan per lahan



Pengukuran dilakukan pada lahan-lahan dengan zona ekologi yang sama, dan dipilih atas dasar sejarah (chronosequence) pembukaannya (minimal 15 tahun sebelumnya dilakukan tebas bakar). Hutan alami memiliki jumlah C tersimpan tertinggi (sekitar 497 Mg ha⁻¹) dibandingkan sistem penggunaan lahan lainnya, lahan ubikayu monokultur memiliki penyimpanan yang terendah (sekitar 49 Mg ha⁻¹) (Gambar 10). Gangguan hutan alami menjadi hutan sekunder menyebabkan kehilangan sekitar 250 Mg C ha⁻¹. Kehilangan penyimpanan C terbesar di atas permukaan tanah terjadi karena hilangnya vegetasi. Sedangkan kehilangan C di dalam tanah terjadi dalam jumlah yang relatif kecil. Bila hutan sekunder terus dikonversi ke sistem tanaman pangan ubikayu monokultur, maka kehilangan C di atas permukaan tanah bertambah lagi sekitar 300-350 Mg C ha⁻¹. Tingkat kehilangan C ini dapat diperkecil bila hutan dikonversi menjadi sistem berbasis karet sekitar 290 Mg C ha⁻¹ di bagian atas tanah, dan sekitar 370 Mg C ha⁻¹ bila dikonversi ke HTI sengon.



Gambar 10. Jumlah C tersimpan pada berbagai sistem penggunaan lahan di Jambi (Tomich *et al.*, 1998)



5. Data penunjang yang dibutuhkan



5. Data penunjang yang dibutuhkan

Beberapa data penunjang yang diperlukan dalam mensintesa hasil pengukuran C tersimpan adalah:

No		Data yang dibutuhkan
1	Sejarah penggunaan Lahan	Sejarah kronologi penggunaan lahan, Lihat Tabel 5
2	Pengelolaan lahan	<ul style="list-style-type: none"> • Pemupukan • Panen • Penanganan sisa panen
3	Kondisi iklim	Curah hujan
4	Tanah	Tekstur tanah, Berat Isi (BI) tanah dan pH

5.1. Sejarah penggunaan lahan, pengelolaan lahan dan iklim

Informasi mengenai sejarah penggunaan lahan yang diperlukan sebagai data pendukung dalam sintesa hasil pengukuran C tersimpan tercantum dalam Tabel 5 dan dapat diperoleh melalui wawancara dengan petani setempat atau pihak terkait. Demikian pula informasi mengenai pengelolaan lahan. Sedangkan curah hujan dapat diperoleh dari instansi terkait seperti Dinas Pertanian dan Kehutanan atau stasiun pengamat iklim.



Tabel 5. Sejarah penggunaan lahan

Kode Plot :
 Nama Pemilik.....
 Desa:
 Luasan lahan:
 Kepemilikan lahan:
 Nama Surveyor:

	Daftar pertanyaan	
1.	Kapan lahan mulai diusahakan sebagai lahan pertanian	th.....
2.	Sistem penggunaan lahan sebelumnya	a. Hutan b. Belukar c. Rerumputan d. Lahan pertanian dng tanaman pokok.....
3.	Teknik pembukaan lahan	a. Tebang bakar b. Tebang tanpa bakar c. Tebang pilih
4.	Sistem penggunaan lahan setelah dialih fungsikan (konversi) a. Jenis penggunaannya b. Berapa lama	th_____ - th_____

5.2. Tanah

Lakukanlah karakterisasi tanah dari setiap lahan yang dipilih sebagai plot contoh dengan jalan mengambil contoh tanah. Beberapa pengukuran yang dibutuhkan adalah berat isi (BI) tanah, tekstur (presentase kandungan liat, pasir dan debu) dan pH tanah. Ada 2 macam contoh tanah yang harus diambil yaitu:

1. Contoh tanah terganggu yang digunakan untuk analisa kimia tanah seperti pH, C organik, N total, P-tersedia, K, Ca, Mg, Kapasitas Tukar Kation, kandungan pasir, liat, debu. Khusus untuk tanah masam analisis kandungan Aluminium dapat dipertukar (Al^{dd}) dan H^{dd} perlu juga diukur.
2. Contoh tanah utuh (tidak terganggu), untuk pengukuran BI tanah



Alat-alat yang dibutuhkan dapat dilihat pada Foto 6 dan Box 6.

Box 6. Alat-alat yang dibutuhkan untuk mengambil contoh tanah

1. Cangkul
2. Lempak (Foto 5 (3))
3. Kuadran besi ukuran 25 cm x 25 cm x 10 cm (Foto 5 (4A))
4. Ember plastik
5. Kantong plastik

5.2.1. Pengambilan Contoh Tanah Terganggu

Cara pengambilan:

- A. Ambil contoh tanah menggunakan cangkul pada titik contoh yang sama dengan pengambilan tumbuhan bawah dan seresah (lihat Gambar 7). Contoh tanah diambil dari 3 kedalaman: 0-5 cm, 5-15 cm dan 15-30 cm, pada 6 titik contoh.
- b. Masukkan contoh tanah per kedalaman dari 6 titik contoh pengambilan ke dalam ember plastik dan campur rata. Ambil contoh tanah campuran tersebut sekitar 1 kg. Beri label dan ikat dengan karet gelang, siap untuk diangkut ke kamp/laboratorium.
- c. Sesampai di kamp, buka plastiknya dan kering-anginkan tanahnya. Setelah kering, tumbuk dan ayak dengan ayakan berukuran lubang pori 2 mm. Ambillah tanah yang lolos ayakan, masukkan kembali ke dalam 2 kantong plastik, beri label. Buang tanah yang tertinggal dalam ayakan.
- d. Contoh tanah dalam kantong plastik siap dikirim ke laboratorium untuk dianalisa.



5.2.2. Cara pengambilan contoh tanah "utuh" (tidak terganggu)

Perhatikan baik-baik langkah-langkah pengambilan contoh tanah utuh yang disajikan pada Foto 9, agar contoh tanah yang diambil dapat mewakili kondisi sebenarnya di lapangan.

- a. Ambil contoh tanah utuh menggunakan kuadran besi, sesuai dengan kedalaman tanah yang dibutuhkan
- b. Contoh tanah diambil pada titik contoh yang berdekatan dengan titik pengambilan contoh tanah terganggu. Hindari tempat-tempat yang telah mengalami pemadatan (misalnya jalan setapak, atau tempat-tempat yang terinjak-injak selama pengambilan contoh tanaman atau seresah).
- c. Pindahkan seresah-seresah kasar yang ada di atas permukaan tanah, tancapkan kuadran besi ke permukaan tanah, tekan perlahan. Letakkan kuadran besi yang lain di atas kuadran besi pertama dan pukul pelan-pelan menggunakan tongkat kayu, hingga kuadran pertama masuk ke dalam tanah sesuai kedalaman yang diinginkan
- d. Jika mengalami kesulitan saat membenamkan kuadran besi (misalnya ada potongan-potongan kayu, akar atau batu), ulangi sekali lagi pada tanah di sampingnya hingga berhasil.
- e. Gali tanah di sekitar kuadran, potong tanah di bawah kuadran menggunakan lempak dan angkatlah perlahan-lahan agar tanah tetap berada utuh di dalam kuadran.
- f. Buang tanah yang ada di permukaan luar kuadran besi dan ratakan tanah pada bagian atas dan bawah kuadran.
- g. Pindahkan tanah yang ada dalam kuadran besi ke dalam kantong plastik dan tutup segera (diikat dengan karet gelang), timbang berat basahnya (W1). Catat beratnya dalam blanko yang disediakan.





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.

- h. Lanjutkan pengambilan contoh pada kedalaman 5-10 cm, 10-20 cm dan 20-30 cm dengan cara yang sama.
- i. Keringkan contoh tanah dalam oven pada suhu 105°C selama 2 hari, dan timbang berat keringnya (W2)
- j. Hitung Berat Isi (BI) tanah dengan rumus:

$$BI = W2 \text{ (g)} / V \text{ (Volume tanah dalam cm}^3\text{)}$$



6. Bagaimana menghitung jumlah C tersimpan di tingkat kawasan?



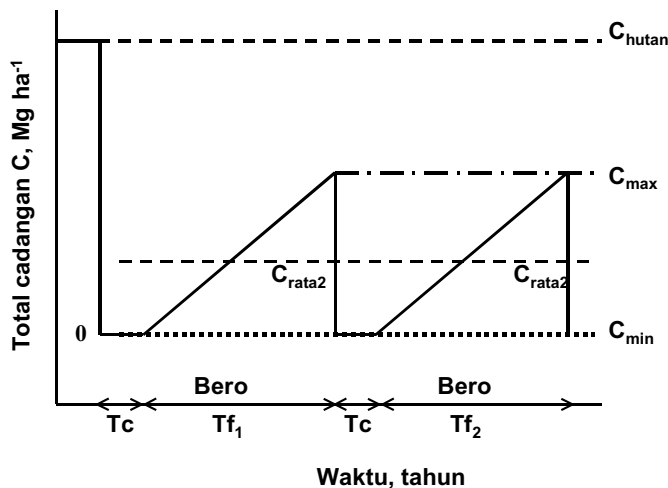
6. Bagaimana menghitung jumlah C tersimpan di tingkat kawasan?

Vegetasi yang ada di hutan alami berbeda dari satu tempat dengan tempat yang lain. Besarnya penyimpanan C berkisar antara 20 hingga 400 Mg C ha⁻¹ tergantung pada jenis dan komposisi ekosistem hutan, letak geografis, tanah dan iklimnya. Pengelolaan hutan juga menentukan penyimpanan C dan perubahannya dari waktu ke waktu yang disebabkan oleh pertumbuhan dan gangguan termasuk hama penyakit dan kebakaran. Besarnya rata-rata penyimpanan C pada suatu sistem penggunaan lahan tergantung pada tingkat akumulasi C pada berbagai fase dalam satu siklus, dan juga tergantung pada waktu yang dibutuhkan per fase.

6.1. Perhitungan jumlah C tersimpan dalam satu siklus tanaman

Untuk mengukur jumlah C tersimpan per siklus tanam dalam satu sistem penggunaan lahan, kita perlu mengukur banyaknya C yang tersimpan ada pada setiap fase tanam setelah penebangan vegetasi hutan atau belukar. Oleh karena itu kita perlu mengetahui sejarah penggunaan lahan, mulai dari saat awal konversi hutan menjadi lahan pertanian, masa bera dan kondisi lahan saat ini. Secara sederhana dapat dijelaskan secara skematis dalam Gambar 11.





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)

Dalam satu siklus lahan pertanian di daerah tropika basah umumnya mempunyai beberapa periode antara lain terdiri dari:

Periode tanaman pangan semusim (T_c). Pembukaan lahan pertanian umumnya diawali dengan tebas dan bakar vegetasi hutan, lahan ditanami satu atau dua kali periode tanaman pangan, T_c (biasanya padi atau jagung). Biasanya tanaman pangan ditumpangsarikan dengan pepohonan. Pada periode awal pembukaan tersebut jumlah C tersimpan sangat sedikit, bahkan mendekati NOL yang merupakan tingkat minimum (C_{min}) dalam satu sistem.

Periode bera. Setelah melalui satu periode tanaman pangan, kesuburan tanah menurun maka lahan tidak ditanami tanaman pangan, pohon dibiarkan tumbuh, sehingga periode ini disebut periode bera. Pada Gambar 11 dapat dilihat adanya periode akumulasi C



yang meningkat secara linier dengan jalannya waktu, (T_f) dan akhirnya berhenti pada waktu tertentu. Dengan demikian peningkatan akumulasi C (I_c) hingga tercapainya jumlah C maksimum adalah:

$$I_c = (C_{\max} - C_{\min}) / T_f$$

Dari gambar tersebut juga dapat diduga C tersimpan rata-rata per siklus tanam bero (T_f) adalah:

$$C_{\text{avgF}} = 0.5 * (C_{\min} + C_{\max})$$

Maka untuk seluruh sistem jumlah C tersimpan rata-rata menjadi:

$$C_{\text{avg}} = T_f * (C_{\max} + C_{\min}) / (2 * (T_f + T_c))$$

dimana:

- C_{\min} : jumlah C tersimpan minimum dalam suatu sistem
- C_{\max} : jumlah C tersimpan maksimum dalam suatu sistem
- T_c : periode dimana terjadi C_{\min} dari setiap sistem
- T_f : periode yang dibutuhkan untuk mencapai C_{\max} mulai dari titik C_{\min}

Tetapi bila T_c diabaikan, misalnya pada kasus konversi hutan menjadi HTI sengon yang pertumbuhannya cepat maka C tersimpan rata-rata menjadi:

$$C_{\text{avg}} = 0.5 * (C_{\max} + C_{\min})$$

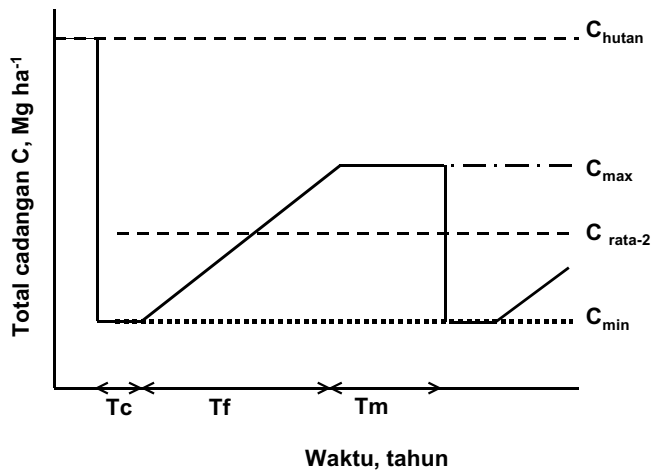
ini berarti tingkat akumulasi C per tahunnya tidak tergantung pada waktu T_f . Artinya bahwa tidak ada perbedaan jumlah C tersimpan rata-rata per siklus tanam antara pohon pertumbuhan cepat (misalnya sengon) dan pohon pertumbuhan lambat (misalnya jati).



6.2. Peningkatan C-rata-rata dalam sistem agroforestri

Contoh skematis ditunjukkan pada Gambar 12, bahwa rotasi pada sistem tumpang sari berbasis pohon atau agroforestri dengan nilai C tersimpan maksimum (C_{\max}) dicapai pada waktu (T_m) sebelum satu masa rotasi tanam berakhir (T_r).

Sebagai contoh kebun kopi, C_{\max} akan dicapai sekitar 7 tahun setelah tanam (*establishment phase*), tetapi produksi akan terus berlangsung selama 5 tahun (*production phase*) setelah itu pohon kopi harus ditebang untuk regenerasi pohon. Pada kondisi tersebut maka satu rotasi tanam kopi ada 12 tahun. Penyimpanan C per siklus tanam untuk sistem penggunaan lahan tersebut ditentukan oleh nilai rata-rata C tersimpan pada berbagai fase rotasi tanam.



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).



Seperti pada contoh sebelumnya jumlah C tersimpan per rotasi tanam untuk periode T_f adalah:

$$C_{avgF} = 0.5 * (C_{min} + C_{max})$$

Dalam periode T_m C tersimpan akan mencapai maksimum, C_{max}

Maka, C tersimpan untuk seluruh sistem menjadi:

$$C_{avg} = (T_c * C_{min} + 0.5 * T_f * (C_{min} + C_{max}) + T_m * C_{max}) / (T_c + T_f + T_m)$$

[fase tan pangan] [fase pertumbuhan] [fase produksi] [total waktu per sistem]

Untuk menyederhanakan hitungan maka:

$$C_{avg} = [(T_c + 0.5 * T_f) * C_{min} + (0.5 * T_f + T_m) * C_{max}] / (T_c + T_f + T_m)$$

dimana

T_m = periode dimana sistem mempertahankan C_{max}

Contoh perhitungan

Penghitungan akumulasi C rata-rata pada sistem agroforestri berbasis kopi adalah sebagai berikut:

C_{max} tercapai pada 7 tahun setelah tanam (periode pertumbuhan), masa produksi terjadi selama 5 tahun lagi sebelum akhirnya pohon kopi ditebang untuk regenerasi.

Pada fase pertumbuhan

$T_f = 7$ tahun dan $C_{min} = 0 \text{ Mg ha}^{-1}$ dan nilai $C_{max} = 15.4 \text{ Mg ha}^{-1}$ maka

Akumulasi C rata-rata pertahun,

$$I_c = 15.4 / 7 = 2.2 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$$



Nilai penyimpanan C per rotasi tanam (C_{ta1}) selama fase pertumbuhan

$$= (I_c * T_f) / 2 = C_{max} / 2 = 7.7 \text{ Mg ha}^{-1}$$

Nilai penyimpanan C rata-rata untuk seluruh sistem adalah nilai rata-rata dari seluruh fase yang ada, yaitu:

$$\begin{aligned} C_{avg} &= [0 + 7 \times 7.7 + 5 \times 15.4] / 12 \\ &= (3.5 + 5) * 15.4 / 12 \\ &= 10.9 \text{ Mg ha}^{-1} \end{aligned}$$

Latihan

Hitung rata-rata jumlah C tersimpan untuk sistem penggunaan lahan HTI sengon (*Paraserianthes falcataria*), jika diketahui tingkat akumulasi C, $I_c = 9 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ dan lamanya siklus berproduksi (T_f) = 8 tahun, T_{max} dan $T_c = 0$

Hitung pula rata-rata jumlah C tersimpan per siklus tanam untuk pohon yang lambat pertumbuhannya, dengan $I_c = 4.5 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ dan lamanya siklus berproduksi, $T_f = 16$ tahun

6.3. Bagaimana menghitung jumlah rata-rata C tersimpan pada skala nasional?

Pendekatan yang kita gunakan dengan menetapkan jumlah C tersimpan rata-rata per siklus tanam pada skala lahan (plot) tersebut di atas dapat dipakai untuk pengukuran penyerapan C pada skala nasional.

Metodologi perhitungan neraca C yang direkomendasikan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) adalah berdasarkan konsep sederhana, dimana total C terrestrial pada waktu t sama dengan produk per bagian (fraksi) luasan



dari satu seri “SPL = sistem penggunaan lahan” dan merupakan suatu penciri penyimpanan C (*typical C-stock*) yang dihubungkan dengan “SPL” pada waktu t . Berikut adalah persamaan sederhana untuk mempermudah dalam memahaminya:

$$A_t = \sum_{i=1}^n A_{i,t} \quad (1)$$

A merupakan total luas unit lahan (misalnya per negara, atau propinsi atau per unit DAS) yang terdiri dari berbagai macam sistem penggunaan lahan (SPL), sebanyak n , yang boleh dikatakan exclusive (sangat berbeda dengan hutan alami) A_t . Maka fraksi area, $a_{i,t}$ dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$a_{i,t} = \frac{A_{i,t}}{A_t} \quad (2)$$

Maka total C tersimpan pada saat t menjadi:

$$C_t = \sum_{i=1}^n A_{i,t} C_{i,t} = A_t \sum_{i=1}^n a_{i,t} C_{i,t} \quad (3)$$

Dimana $C_{i,t}$ adalah total C tersimpan per unit area pada SPL i , pada saat t , dan perubahan jumlah C tersimpan pada interval waktu $t \rightarrow t+1$ sebagai:

$$C_{t+1} - C_t = \sum_{i=1}^n A_{i,t+1} a_{i,t+1} C_{i,t+1} - \sum_{i=1}^n A_{i,t} a_{i,t} C_{i,t} \quad (4)$$

Bila total area tidak berubah (maka $A_t = A_{t+1}$) dan klasifikasi SPL masih tetap, berarti net penyerapan C atau emisi C neto menjadi:

$$C_{t+1} - C_t = A_t \sum_{i=1}^n (a_{i,t+1} C_{i,t+1} - a_{i,t} C_{i,t}) \quad (5)$$

Persamaan ini dapat ditulis ulang dengan memisahkan faktor yang berhubungan dengan perubahan rata-rata jumlah C tersimpan per unit area dalam suatu kelas i , dan faktor lain yang berhubungan dengan perubahan area dalam kelas i :

$$C_{t+1} - C_t = A_t \sum_{i=1}^n (a_{i,t} (C_{i,t+1} - C_{i,t}) + (a_{i,t+1} - a_{i,t}) C_{i,t}) \quad (6)$$



Metodologi IPCC yang digunakan saat ini adalah didasarkan pada persamaan (6) dan termasuk estimasi peningkatan rata-rata jumlah C tersimpan per klas sistem penggunaan lahan. Namun cara tersebut masih dijumpai banyak ketidakmenentuan untuk memonitoring C di tingkat nasional, yaitu yang berhubungan dengan peningkatan C tersimpan. Pada pelaksanaannya memang cenderung ada pengukuran peningkatan C tersimpan tetapi mengabaikan kehilangan C. Untuk pengukuran tingkat nasional asumsi pengukuran pada berbagai fase SPL yang menghasilkan rata-rata jumlah C tersimpan per siklus tanam mungkin lebih dapat diterima, kecuali bila umur rata-rata pohon atau hutan mengalami perubahan, menjadi meningkat atau menurun. Disini kita dapat menyederhanakan prosedur penghitungan dengan mengemas rangkaian waktu penyimpanan C yang spesifik sebagai satu sistem penggunaan lahan (misalnya pada sistem ladang berpindah, sistem tebang pilih, sistem tanam gilir tanaman pangan dan bero), dengan rata-rata jumlah C tersimpan persiklus tanam tidak dibatasi oleh waktu, maka persamaan (6) dapat disederhanakan menjadi:

$$C_{t+1} - A_t = \sum_{i=1}^n C_i(a_{i,t+1} - a_{i,t}) \quad (7)$$

Yang berarti bahwa perubahan besarnya C tersimpan dapat diukur dari perubahan fraksi area dari berbagai sistem penggunaan lahan, dikalikan dengan rata-rata C tersimpan per siklus tanam dari masing-masing kelas sistem penggunaan lahan.

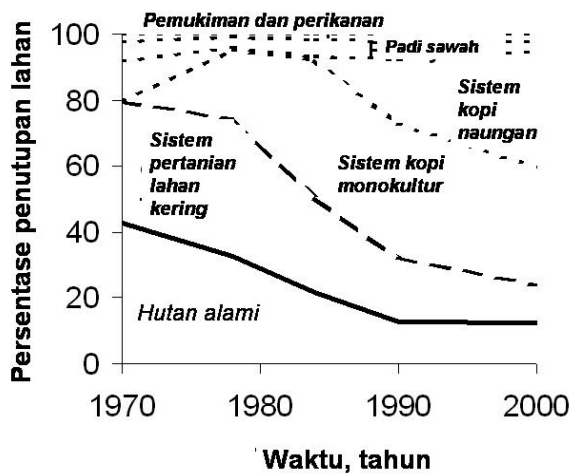
Contoh perhitungan

Hasil pengukuran C tersimpan di berbagai sistem penggunaan lahan di Sumberjaya, Lampung Barat (Van Noordwijk *et al.* 2002) menunjukkan bahwa rata-rata penyimpanan C pada sistem agroforestri berbasis kopi adalah 82 Mg ha⁻¹ pada 25 tahun pertama setelah tebas bakar hutan, sedang pada sistem kopi monokultur terdapat 52 Mg ha⁻¹. Penyimpanan rata-rata C di hutan alami adalah 262 Mg



ha⁻¹ dan pada hutan-hutan sekunder (hutan terganggu) terdapat 96 Mg ha⁻¹.

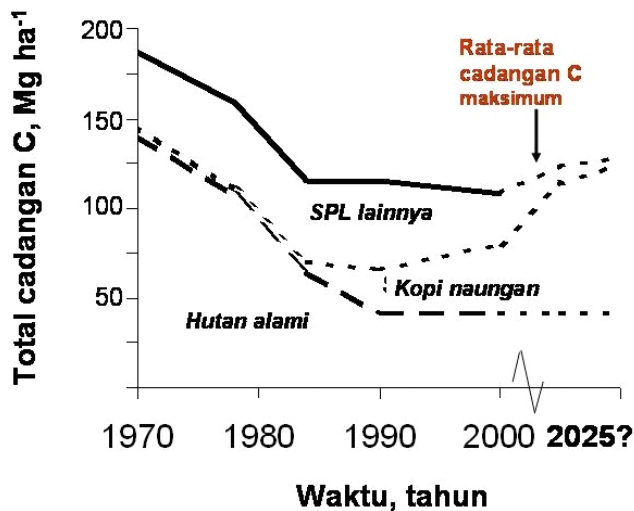
Dengan melihat data luasan penutupan lahan dari hasil rekaman satelit citra landsat tahun 1970 hingga tahun 2000, diketahui bahwa pada tahun 1990 telah terjadi alih fungsi hutan sekitar 50-60% dari total luasan hutan yang ada menjadi kebun kopi (Gambar 13).



Gambar 13. Perubahan persentase penutupan lahan di daerah Sumberjaya, Lampung Barat.

Penghitungan selanjutnya adalah menghitung jumlah C tersimpan yang ada pada tingkat DAS (kawasan), yaitu mengalikan nilai rata-rata penyimpanan C per sistem penggunaan lahan dengan jumlah luasannya sehingga penyimpanan C per kawasan dapat diketahui (Gambar 14).





Gambar 14. Total C tersimpan pada tingkat kawasan dari berbagai waktu pengukuran di Sumberjaya.

Kesimpulan

Pada tahun 1970, ketika penutupan hutan sekitar 60% dari total luasan DAS, rata-rata jumlah C tersimpan yang ada sekitar 200 Mg ha⁻¹.

Pada tahun 1984 (14 tahun kemudian), penutupan hutan tinggal 19.7%, rata-rata jumlah C tersimpan menurun menjadi 92 Mg ha⁻¹. Penurunan C tersimpan per tahunnya adalah 6.8 Mg ha⁻¹.

Pada tahun 1984–2000 luasan tutupan hutan terus berkurang menjadi 12.6%, menyebabkan total C tersimpan di tingkat kawasan turun hingga 86 Mg ha⁻¹, berarti kawasan Sumberjaya, kehilangan penyimpanan C per tahunnya 0.4 Mg ha⁻¹.

Berkurangnya laju penurunan C tersimpan di tingkat kawasan ini sejalan dengan adanya peningkatan luasan kebun kopi multistrata yang menggantikan



kebun kopi monokultur. Selain itu, jumlah tutupan lahan oleh rumput-rumputan berkurang dari 15.6% (tahun 1984) menjadi 9.9% (tahun 2000).

Dengan menggunakan data yang sama, kita dapat mengestimasi apa yang akan terjadi di tahun 2025 seandainya lahan rumput-rumputan atau lahan pertanian yang terbuka lainnya diubah menjadi kebun kopi naungan, maka rata-rata jumlah C tersimpan yang ada di Sumberjaya menjadi 102 Mg ha⁻¹. Jumlah tersebut menjadi lebih tinggi 10 Mg ha⁻¹ dari pada C tersimpan di tahun 1990. Hasil penelitian ini dapat dipakai sebagai masukan kepada pengambil kebijakan bahwa praktek agroforestri (kebun campuran) dapat dipakai sebagai tawaran teknik untuk mempertahankan layanan lingkungan di tingkat kawasan.



DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, J., 2001. Estimasi Penyimpanan C Pada Berbagai Sistem Penggunaan Lahan di Kecamatan Ngantang, Malang, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang, 61pp.
- Hairiah, K. Van Noordwijk, M., Palm, C. 1999. Methods for sampling above and below ground organic pools. In: Murdiyarso, D., Van Noordwijk, M. and Suyanto, D.A. (eds). Modelling Global Change Impacts on the Soil Environment. IC-SEA Report No. 6. SEAMEOBIOTROP-GCTE ICSEA, Bogor, p: 46-77
- Hairiah, K., Sitompul, S.M., Van Noordwijk, M. and Palm, C. 2001. Carbon Stocks of tropical landuse systems as part of the global C balance: effects of forest conversion and option for clean development activities. ASB Lecture Note 4A. ICRAF, Bogor, 49pp.
- Hairiah, K and Murdiyarso, D. 2004. Alih Guna Lahan dan Neraca C Terrestrial. Bahan Ajaran ASB 3. World Agroforestry Centre. (in press)
- Hairiah, K., Sitompul, S.M., Van Noordwijk, M. and Palm, C. 2001. Methods for sampling carbon stocks above and below ground. ASB Lecture Note 4B. ICRAF, Bogor, 23pp.
- Ketterings, Q.M., Coe, R., Van Noordwijk, M., Ambagau, Y. and Palm, C. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. Forest Ecology and Management 146: 199-209.
- Priyadarsini, R. 1999. Estimasi Modal C (C-stock) Masukan Bahan Organik, dan Hubungannya dengan Populasi Cacing Tanah pada Sistem Wanatani. Program Pasca Sarjana, Universitas brawijaya, Malang. 76pp.

- Sugiharto, C. 2002. Kajian Aluminium Sebagai Faktor Pembatas Pertumbuhan Akar Sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nelson). Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya. Malang. 64pp.
- Van Noordwijk, M., Rahayu, S., Hairiah, K., Wulan, Y.C., Farida, A. and Verbist, B. 2002. Carbon stock assessment for a forest-to-coffee conversion landscape in Sumberjaya (Lampung, Indonesia): from allometric equation to land use change analysis, *Science in China*, 45: 75-86.
- Waterloo, M.J., 1995. Water and nutrient dynamics of pinus caribea plantation forests on former grassland soils in Southwest Viti Levu, Fiji, PhD thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam, the Netherlands, 478 pp.
- Weyerhaeuser, H. dan Tennigkeit, T., 2000. Forest inventory and monitoring manual. HBS-ICRAF-CMU, Chiang Mai, 30p.

LAMPIRAN

73

Lampiran 1. Rumus allometrik untuk menghitung biomasa bagian atas beberapa spesies pohon*)

Spesies	Rumus	R ²	Tinggi DBH/ BA (cm) ^a	D (cm)	Jumlah pohon (n)	Umur (tahun)	Sumber **
<i>Tectona grandis</i>	LOG Y = -0.815 + 2.383*LOG (DBH)	0.98	130	10-59	87	5-47	1
<i>Tectona grandis</i>	LOG Y = -1.042 + 2.575*LOG (DBH)	0.98	130	17-45	9	20	2
<i>Bombacopsis quinatum</i>	LOG Y = -1.988 + 2.993*LOG (DBH)	0.97	130	14-46	17	10-26	3
<i>Eucalyptus</i> sp.	Y = 1.22*DBH ² + 0.0001* HT	0.97	130	1-31	458	2-5	4
<i>Pinus pinaster</i>	Y = 1.060*e ^{2.482*DBH^{2.235}}	0.98	10	0-47	148	1-47	5
<i>Bactris gasipaes</i>	Y = 0.97 + 0.078*BA + 0.00094*BA ² + 0.0000064*BA ³	0.98	100	2-12	7-10	7	6
<i>Theobroma grandiflora</i>	Y = -3.9 + 0.23*BA + 0.0015*BA ²	0.93	30	6-18	7-10	7	6
<i>Hevea brasiliensis</i>	Y = -3.84 + 0.528*BA + 0.001*BA ²	0.99	150	6-20	7-10	7	6
<i>Citrus sinensis</i>	Y = -6.64 + 0.279*BA + 0.0005141*BA ²	0.94	30	8-17	7-10	7	6
<i>Bertholletia excelsa</i>	Y = -18.1 + 0.663*BA + 0.000384*BA ²	0.99	130	8-26	7-10	7	6

*) Dipublikasi dalam IPCC Good Practice Guidance for LULUCF

**) Sumber: 1 Perez and Kanninen, 2003; 2 Kraenzel *et al*, 2003; 3 Perez dan Kanninen, 2002; 4 Senelma and Sims, 1998; 5 Ritson and Sochacki, 2003; 6 Schroth *et al*, 2002.

Lampiran 2. Rumus alometrik untuk menghitung biomasa beberapa spesies pohon palem*)

Spesies	Rumus	R ²	Tinggi pohon (HT dalam m)
<i>Chrysophylla sp.</i>	$Y = 0.182 + 0.498 * HT + 0.049 * (HT)^2$	0.94	0.5-10
<i>Attalea cohune</i>	$Y = 10.856 + 176.76 * HT + 6.898 * (HT)^2$	0.94	0.5-15.7
<i>Sabal sp.</i>	$Y = 24.559 + 4.921 * HT + 1.017 * (HT)^2$	0.82	0.2-14.5
<i>Attalea phalerata</i>	$Y = 23.487 + 41.851 * (LN(HT))^2$	0.62	1-11
<i>Euterpe precatoria</i> and <i>Phenakospermum guianensis</i>	$Y = 6.666 + 12.826 * (HT^{0.5}) * LN(HT)$	0.75	1-33

Source: Delaney *et al.*, 1999; Brown *et al.*, 2001

*) Dipublikasi dalam IPCC Good Practice Guidance for LULUCF

Catatan:

D = Diameter

DBH (diameter at breast height) = diameter setinggi dada atau 130 cm dari permukaan tanah

BA = Basal Area (cm)

HT (height of tree) = Tinggi tanaman (m)

Y = biomasa bagian atas tanaman (kg/pohon)

Lampiran 3. Nilai koefisien alometrik (a dan b) untuk penghitungan biomasa bagian atas beberapa spesies pohon dengan menggunakan rumus perhitungan^{**)}
 $Y = a.D^b$

Species	a	b	Kisaran D (cm)	Lokasi	Sumber
<i>Acer rubrum</i>	0.091	2.508	5-50	USA	Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997
<i>Acer saccharum</i>	0.1008	2.5765	5-50	USA	Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997
<i>Alnus glutinosa</i>	0.3251	2.022	0-40	Swedia	Johansson, 1999
<i>Alnus incata</i>	0.1086	2.337	0-36	Swedia	Johansson, 1999
<i>Alnus rugosa</i>	0.2612	2.2087	3-9	USA	Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997
<i>Betula alleghaniensis</i>	0.154	2.3753	5-50	USA	Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997
<i>Betula lenta</i>	0.0629	2.6606	5-50	USA	Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997
<i>Betula papyfera</i>	0.1182	2.4287	5-32	USA	Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997
<i>Betula pendula</i>	0.2511	2.2865		UK	Hughes, 1971
<i>Carya sp.</i>	0.0792	2.6349	5-50	USA	Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997
<i>Castanea sativa</i>	0.137	2.247	1-36.1	Itali	Leonardo, et al, 1996
<i>Fagus grandifolia</i>	0.0842	2.5715	5-50	USA	Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997
<i>Fraxinus americana</i>	0.1063	2.4798	5-50	USA	Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997
<i>Populus tremuloides</i>	0.0527	2.5084	3-50	USA	Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997
<i>Quercus alba</i>	0.0579	2.6887	5-50	USA	Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997

Species	a	b	Kisaran D (cm)	Lokasi	Sumber
<i>Quercus coccinea</i>	0.1241	2.4395	5-40	USA	Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997
<i>Quercus macrocarpa</i>	0.1447	2.282	6-25	USA	Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997
<i>Quercus rubra</i>	0.113	2.4572	5-50	USA	Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997
<i>Quercus velutina</i>	0.0945	2.503	5-40	USA	Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997
<i>Abies balsamea</i>	0.2575	2.0546	3-40	USA	Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997
<i>Chamaecyparis nootkatensis</i>	0.2498	2.1118	18-60	USA	Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997
<i>Picea glauca</i>	0.1077	2.3308	0-39	USA	Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997
<i>Pinus banksiana</i>	0.2131	2.1283	0-38	USA	Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997
<i>Pinus radiata</i>	0.0535	2.318	10.3-19.8	Australia	Forrest, 1969
<i>Pinus resinosa</i>	0.1003	2.3865	3-51	USA	Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997
<i>Pinus rigida</i>	0.104	2.3373	0-31	USA	Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997
<i>Pinus sylvestris</i>	0.0398	2.64	0.5-22.7	UK	Ovington, 1957
<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	0.1858	2.3055	2-24	Australia	Clough and Scott, 1989 (cited in Eamus et al., 2000)
<i>Bruguiera parviflora</i>	0.1679	2.4167	2-21	Australia	Clough and Scott, 1989
<i>Ceriops tagal</i>	0.1884	2.3379	2-18	Australia	Clough and Scott, 1989
<i>Erythrophloeum chlorostachys</i>	0.0407	2.851	4.6-14.7	Australia	Eamus et al, 2000

Species	a	b	Kisaran D (cm)	Lokasi	Sumber
<i>Eucalyptus</i>	0.162	2.282	2.6-52.8	Australia	Eamus et al, 2000
<i>Eucalyptus calophylla</i>	0.2143	2.04	2-24.5	Australia	Ward and Pikersgill, 1985
<i>Eucalyptus diversicolor</i>	0.1179	2.47	2-40	Australia	Grove and Malajczuk, 1985
<i>Eucalyptus globulus</i>	0.1466	2.3	7.5-22.8	Australia	Bennet et al, 1997 (cited in Keith et al, 2000)
<i>Eucalyptus maculatus</i>	0.0812	2.47	2-24.5	Australia	Ward and Pikersgill, 1985
<i>Eucalytus obliqua</i>	0.0644	2.584	29.9-70.8	Australia	Eamus et al, 2000
<i>Eucalyptus papuana</i>	0.0437	2.97	11.7-44.2	Australia	Eamus et al, 2000
<i>Eucalyptus grandis</i>	0.1077	2.404		Australia	OBrien, 1998
Tropical	0.0811	2.4257	5.1-38.2	Brazil	Nelson et al, 1999
Tropical	0.1043	2.66		Brazil	Brown, 1997
Tropical	0.1043	2.6		Indonesia	Brown, 1997
Tropical	0.0661	2.591		Indonesia	Ketterings et al, 2001
<i>Xylocarpus granatum</i>	0.0823	2.5883	3-17	Australia	Clough and Scott, 1989
<i>Acacia auriculiformis</i>	0.2061	2.4369		India	Kumar et al, 1998
<i>Artocarpus heterophyllus</i>	0.1792	2.2512		India	Kumar et al, 1998
<i>Artocarpus hirsutus</i>	0.0464	2.7934		India	Kumar et al, 1998
<i>Paraserianthes falcataria</i>	0.0538	2.6818		India	Kumar et al, 1998
<i>Pine plantation</i>	0.1179	2.2476		Australia	Snowdon et al, 2000
<i>Pterocarpus marsupium</i>	0.0410	2.8286		India	Kumar et al, 1998
<i>Rainforest</i>	0.1500	2.3698		Australia	Snowdon et al, 2000
<i>Rhizophora apiculata/R. stylosa</i>	0.1049	2.6848		Australia	Clough and Scott, 1989

Keterangan: D = diameter pohon setinggi dada (130 cm dari permukaan tanah)

**) Informasi dalam Tabel Lampiran 3 tersebut diambil dari:

Zianis, D. and Mencuccini, M. 2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management* 187: 311-332

PENGUKURAN “KARBON TERSIMPAN” DI BERBAGAI MACAM PENGUNAAN LAHAN



World Agroforestry Centre
TRANSFORMING LIVES AND LANDSCAPES

