

Petunjuk
Praktis

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

dari tingkat lahan ke
bentang lahan
Edisi ke 2

Kurniatun Hairiah, Andree Ekadinata,
Rika Ratna Sari dan Subekti Rahayu

World Agroforestry Centre

Petunjuk praktis

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

dari tingkat lahan ke bentang lahan

Edisi ke 2

Kurniatun Hairiah, Andree Ekadinata,
Rika Ratna Sari dan Subekti Rahayu

Sitasi

Hairiah K, Ekadinata A, Sari RR, Rahayu S. 2011. Pengukuran Cadangan Karbon: dari tingkat lahan ke bentang lahan. Petunjuk praktis. Edisi kedua. Bogor, World Agroforestry Centre, ICRAF SEA Regional Office, University of Brawijaya (UB), Malang, Indonesia xx p.

Hak cipta

Mengutip sebagian isi buku ini diperbolehkan, dengan menyebutkan sumber dan penerbitnya.

ISBN

978-979-3198-53-8

Kontak

Kurniatun Hairiah (kurniatunhairiah@gmail.com);
Andree Ekadinata (a.ekadinata@cgiar.org);
Rika Ratna Sari (rieqa_r@yahoo.co.id);
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 8625415; Fax: +62 251 8625415
www.worldagroforestry.org/sea

Foto sampul

Kurniatun Hairiah dan Daud Pateda

Disain dan tata letak

Tikah Atikah (t.atikah@cgiar.org)

Kata Pengantar

Dalam rangka mitigasi perubahan iklim, Presiden RI telah menyampaikan bahwa Indonesia dapat menurunkan emisi karbon sebesar 26% dari BAU (*Business As Usual*) melalui penyusunan kebijakan gabungan antara penurunan penggunaan energi BBF (Bahan Bakar Fosil) dan pengendalian alih guna hutan. Penurunan emisi karbon akan meningkat menjadi 41% bila ada bantuan internasional. Namun demikian, bantuan tersebut tidak akan didapatkan apabila Pemerintah Indonesia tidak segera menyusun strategi dan menghitung emisi karbon di tingkat nasional secara akurat dan benar.

Salah satu syarat dalam pelaksanaan penurunan emisi karbon melalui skema REDD (*Reducing Emissions from Deforestation and (forest) Degradation*) adalah MRV (*Measurable, Reportable dan Verifiable*) yaitu sistem untuk mendokumentasikan, melaporkan, dan memverifikasikan perubahan cadangan karbon secara transparan, konsisten, dapat dibuktikan secara lengkap dan akurat. Di Indonesia, ketersediaan data cadangan karbon di hutan dan lahan-lahan pertanian berbasis pepohonan masih sangat terbatas. Hal tersebut disebabkan karena ketersediaan petunjuk pelaksanaan pengukuran cadangan karbon yang memenuhi standard internasional tetapi bisa dilaksanakan di tingkat lokal masih sangat terbatas.

Buku ini merupakan pengembangan dari buku yang terbit sebelumnya (2007) yaitu "Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan". Namun isi dari buku tersebut masih terfokus pada pengukuran cadangan karbon di tingkat lahan saja yang banyak digunakan dalam kegiatan ASB (*Alternatives to Slash and Burn*). Sedangkan pada buku edisi kedua ini berisi pengukuran cadangan karbon menggunakan metoda RaCSA (*Rapid Carbon Stock Appraisal*) yang mencakup cara untuk mengekstrapolasi cadangan karbon dari tingkat lahan ke tingkat bentang lahan. RaCSA telah diuji pada berbagai jenis penggunaan lahan di berbagai daerah dengan kondisi iklim yang berbeda melalui kegiatan TUL-SEA (*Trees in multi-Use Landscapes in Southeast Asia*) dan ALLREDDI (*The Accountability and Local Level Initiative to Reduce Emission from Deforestation and Degradation in Indonesia*) yang dikoordinir oleh World Agroforestry Centre (ICRAF Southeast Asia).

Buku RaCSA ini disusun khusus untuk pengukuran cadangan karbon pada tanah mineral (tanah kering), sedang untuk pengukuran cadangan karbon pada tanah gambut dapat dilihat pada seri berikutnya.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Uni Eropa (EU) sebagai penyandang dana dari Proyek ALLREDDI, dan kepada Proyek ALLREDDI yang mendanai penerbitan buku. Penghargaan juga disampaikan kepada rekan Degi Harja dan Meine van Noordwijk yang telah memberikan masukan berharga pada bab pemilihan rumus allometrik, dan kepada Jusupta Tarigan yang telah membantu dalam memeriksa konsistensi penggunaan istilah, serta kepada Tikah Atikah yang telah membuat disain dan tata letak buku ini, sehingga menjadi lebih indah.

Semoga buku ini dapat digunakan sebagai panduan bagi petugas lapangan dan anggota masyarakat serta para pihak lainnya yang akan terlibat dalam skema imbal jasa karbon.

Daftar Isi

Kata pengantar	i
Daftar gambar	v
Daftar foto	ix
Daftar tabel	xi
Daftar akronim	xiii
1. Komponen penyusun cadangan karbon di tingkat lahan	1
Latar belakang	1
2. Pengukuran cadangan karbon di tingkat lahan	7
2.1. Pembuatan petak contoh permanen	8
2.2. Penaksiran biomasa tanaman	12
2.2.1. Biomasa pohon	12
2.2.2. Pengukuran biomasa tumbuhan bawah ('understorey')	27
2.3. Pengukuran 'nekromasa' di permukaan tanah	31
2.3.1. Nekromasa berkayu	31
2.3.2. Nekromasa tidak berkayu	35
2.4. Pengukuran bahan organik tanah	39
2.4.1. Pengambilan contoh tanah terganggu	40
2.4.2. Pengambilan contoh tanah "utuh"	41
3. Penghitungan cadangan karbon di tingkat lahan	47
4. Penghitungan dinamika karbon di tingkat bentang lahan	51
4.1. Faktor emisi: rata-rata karbon per siklus tanam	52
4.1.1. Perhitungan rata-rata cadangan karbon per siklus tanam pada sistem agroforestri	53

4.1.2. Perhitungan rata-rata cadangan karbon per siklus tanam pada sistem perkebunan	54
4.2. Data aktivitas	55
4.3. Analisa perubahan cadangan karbon di tingkat bentang lahan	57
5. Contoh studi kasus	
Estimasi perubahan cadangan karbon pada berbagai sistem penggunaan lahan di DAS Kali Konto, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang	61
5.1. Pengukuran cadangan karbon di tingkat lahan	61
5.2. Ekstrapolasi dari tingkat lahan ke tingkat bentang lahan (DAS)	64
6. Permainan strategi pengembangan wilayah konservasi karbon	69
Permainan 1 : Kuantifikasi emisi dan perubahan penggunaan lahan	70
Permainan 2 : Perencanaan perubahan lahan dan strategi pengurangan emisi	74
Daftar pustaka	81
Lampiran	85

Daftar gambar

Gambar 1. Sketsa pembuatan plot permanen untuk pengukuran seluruh komponen cadangan karbon per lahan	10
Gambar 2. Kaidah perubahan atau pemindahan petak contoh; pemindahan dilakukan dengan membagi plot ke dalam dua jalur yang berhimpitan (Gambar a; a2); mengubah posisi plot dengan memajukan atau memundurkan posisi plot, tetapi tetap berada di jalur yang sama (Gambar b; b2 atau b3) (dikutip dari IHMB, 2009)	11
Gambar 3. Cara pengukuran lilit batang pohon menggunakan pita pengukur (A), tampak atas pengukuran diameter setinggi dada (DBH) pohon menggunakan jangka sorong (B) (Weyerhaeuser dan Tennigkeit, 2000)	14
Gambar 4. Skematis cara menentukan ketinggian pengukuran DBH batang pohon yang tidak beraturan bentuknya (Weyerhaeuser dan Tennigkeit, 2000)	16
Gambar 5. Skema estimasi diameter pohon yang berbanir tinggi berdasarkan pendekatan geometri	18
Gambar 6. Berbagai cara pengukuran tonggak tanaman hidup	19
Gambar 7. Hubungan empiris antara nilai a (intersepsi) dengan b (koefisien arah) dari berbagai rumus allometrik yang digunakan untuk penaksiran biomasa pohon (bagian di atas tanah) yang dikoreksi dengan nilai Berat Jenis (BJ) kayunya ($\rho = \text{rho}$)	23
Gambar 8. Hubungan antara DBH dengan biomasa pohon dalam persamaan allometrik dengan berbagai nilai b saja (nilai a dan b saling berhubungan, lihat Gambar 7)	24
Gambar 9. Hubungan berbagai kelas DBH pohon dengan kumulatif cadangan karbon berdasarkan data pengukuran dari 21 petak contoh di kawasan hutan	25
Gambar 10. Bentuk kuadran untuk pengambilan contoh tumbuhan bawah dan seresah	28

Gambar 11. Penempatan kuadran (sub plot) dalam petak contoh (sub plot utama)	29
Gambar 12. Pengukuran diameter dan panjang pohon roboh yang masuk dalam sub plot utama pengamatan	32
Gambar 13. Skema perhitungan dinamika cadangan karbon di tingkat bentang lahan yang merupakan hasil perkalian antara data aktivitas dengan faktor emisi	51
Gambar 14. Perubahan cadangan karbon setelah alih guna hutan menjadi lahan pertanian	52
Gambar 15. Diagram kehilangan cadangan karbon setelah alih guna hutan (C_{min}) menjadi lahan tanaman semusim (ada 2 fase), diikuti oleh fase penimbunan kembali karbon selama fase agroforestri hingga pertumbuhan maksimum (C_{max}), (modifikasi dari Palm <i>et al.</i> 1999)	53
Gambar 16. Citra lansat terklasifikasi Tahura R. Soerjo tahun 1972, 2004 dan 2010	55
Gambar 17. Perubahan luasan tutupan lahan hutan di kawasan Tahura R. Soerjo, Jawa Timur	56
Gambar 18. Peta kerapatan cadangan karbon di kawasan Tahura R. Soerjo, Jawa Timur	56
Gambar 19. Cadangan karbon pada berbagai system penggunaan lahan di kawasan Tahura R. Soerjo dan DAS Kali Konto (Sumber: Hairiah <i>et al.</i> 2010)	62
Gambar 20. Distribusi cadangan karbon di sub-DAS Kali Konto menurut peta tutupan lahan tahun 1990 dan 2005 (Sumber: Hairiah <i>et al.</i> 2010)	64
Gambar 21. Estimasi emisi karbon di sub-DAS Kali Konto berdasarkan perubahan tutupan lahan yang terjadi pada tahun 1990-2005	65
Gambar 22. Matriks penggunaan lahan tahun 2000 dan tahun 2010	70
Gambar 23. Matriks perhitungan perubahan penggunaan lahan tiap tutupan lahan; Perubahan penggunaan lahan hutan primer HP (1A); Perubahan Penggunaan lahan belukar (1B); Perubahan penggunaan lahan perkebunan (1C)	72
Gambar 24. Matriks perhitungan faktor emisi karbon	73
Gambar 25. Matriks perhitungan perubahan cadangan karbon	74
Gambar 26. Matriks aktivitas perubahan penggunaan lahan	75

Gambar 27. Matriks perubahan penggunaan lahan dan manfaat ekonomi akibat rencana aktivitas yang dilakukan	76
Gambar 28. Matriks perubahan penggunaan lahan dan manfaat ekonomi dalam rangka strategi pengurangan emisi	77
Gambar 29. Perbandingan rata-rata emisi tahunan dan manfaat ekonomi rencana aktivitas untuk strategi pengurangan emisi karbon	77

Daftar foto

Foto 1. Penyimpan karbon dalam biomasa tanaman yaitu: pepohonan dan tumbuhan bawah di lahan hutan dan agroforestri (nomor 1-4); Penyimpan karbon dalam nekromasa kayu dan ranting, arang, seresah daun dan bahan organik serta bahan organik tanah (nomor 5-8)	3
Foto 2A. Pembuatan sub plot utama pengukuran cadangan karbon di hutan alami: perekaman geoposisi titik ikat menggunakan GPS, pengukuran sub plot utama 5 m x 40 m, dan pembuatan siku sub plot utama	11
Foto 2B. Pembuatan sub plot utama pengukuran cadangan karbon; penentuan arah pembuatan plot (1), pengukuran sub plot utama 5 m x 40 m (2 dan 3), pembuatan siku sub plot utama (3), pemberian patok disudut plot sebagai tanda bila plot akan dijadikan plot permanen (4)	12
Foto 3. Pengukuran diameter batang (DBH) pohon (1) pengukuran DBH pohon besar di hutan (2), pengukuran DBH pohon bercabang, percabangan terjadi pada ketinggian <1.3 m dari permukaan tanah (3)	13
Foto 4. Pengukuran DBH pohon yang benar dan salah	14
Foto 5. Penentuan titik pengukuran DBH pohon bercabang rendah (1) dan pada pohon berbanir tinggi (2)	17
Foto 6. Alat-alat yang dibutuhkan untuk mengambil contoh tumbuhan bawah, seresah dan tanah: (1) pita pengukur, (2) bingkai kuadran sebagai sub plot untuk mengambil tumbuhan bawah dan seresah, (3) lempak baja, (4A) kuadran baja, (4B) ring baja, (5) cetok tanah	27
Foto 7. Pengukuran nekromasa dalam plot, (1) pengukuran panjang pohon roboh, (2) pengukuran diameter (DBH) pohon berukuran besar (diameter > 30 cm), (3) pengukuran diameter (DBH) tunggul mati	33
Foto 8. Pengukuran nekromasa tidak berkayu, (1) seresah di permukaan tanah, (2) pengambilan contoh tanah terganggu di lapisan atas, (3) penimbangan berat basah langsung di lapangan	37

Foto 9. Akar-akar halus yang terdapat di tanah lapisan atas (1) dan pemisahan tanah dan akar melalui pengayakan (2)	38
Foto 10. Pengambilan contoh tanah utuh, (1) pembenaman box besi ke dalam tanah, (2) pemotongan tanah di sekitar box dan pengangkatan ke luar lubang, (3 dan 4) memotong kelebihan tanah pada box hingga rata dengan permukaan box, (5) memasukkan contoh tanah ke dalam kantong plastik dan pemberian label contoh tanah yang diambil	43
Foto 11. Praktek permainan strategi pengembangan wilayah	69

Daftar tabel

Tabel 1A. Lembar pengukuran biomasa: diameter dan tinggi pohon-pohon besar (diameter > 30 cm)	20
Tabel 1B. Lembar pengukuran biomasa: diameter dan tinggi pohon-pohon sedang (diameter 5-30 cm)	21
Tabel 2. Rumus-rumus allometrik untuk menaksir biomasa pohon di hutan berdasarkan zona iklimnya (Chave <i>et al.</i> 2005).	22
Tabel 3. Rumus-rumus allometrik untuk menduga biomasa beberapa jenis tanaman yang umum ditanam pada lahan agroforestri	26
Tabel 4. Lembar pengukuran biomasa: pengambilan contoh tumbuhan bawah	30
Tabel 5A. Lembar pengukuran nekromasa berkayu: diameter dan panjang nekromasa besar (diameter > 30 cm)	34
Tabel 5B. Lembar pengukuran nekromasa berkayu: diameter dan panjang nekromasa sedang (diameter 5 - 30 cm)	34
Tabel 6. Lembar pengukuran nekromasa: contoh seresah halus dan akar	39
Tabel 7. Lembar pengukuran berat isi tanah	42
Tabel 8. Estimasi total cadangan karbon bagian atas dan bawah tanah pada suatu sistem penggunaan lahan (ton/ha)	48
Tabel 9. Contoh matriks transisi perubahan tutupan lahan tahun 1972 dan 2004	57
Tabel 10. Contoh hasil akhir perhitungan faktor emisi (ton/ha) berdasarkan data perubahan tutupan lahan (1972, 2004 dan 2010)	58
Tabel 11. Faktor emisi di Tahura R. Soerjo, Jawa Timur	58
Tabel 12. Cadangan karbon dan <i>time averaged-carbon stock</i> di berbagai tutupan lahan yang ada di Kecamatan Ngantang (Sumber data: Hairian <i>et al.</i> 2010)	63
Tabel 13. Ringkasan hasil perhitungan faktor emisi di DAS Kali Konto selama 15 tahun (1990-2005)	65

Daftar akronim

AFOLU	= Agriculture, Forestry and Other Land Uses
ALLREDDI	= The Accountability and Local Level Initiative to Reduce Emissions from Deforestation and Degradation in Indonesia
BAU	= Business As Usual
DAS	= Daerah Aliran Sungai
DBH	= Diameter at Breast Height
IHMB	= Inventarisasi Hutan Menyeluruh Berkala
IPCC	= Intergovernmental Panel Climate Change
LULUCF	= Land Use, Land Use Change and Forestry
MRV	= Monitoring, Reporting and Verification
RaCSA	= Rapid Carbon Stock Appraisal
REALU	= Reducing Emissions from All Land Uses
REDD	= Reducing Emission from Deforestation and Degradation
Tahura	= Taman Hutan Raya
TN	= Taman Nasional
TULSEA	= Trees in multi-Use Landscapes in Southeast Asia



Melastoma malabathricum, tumbuhan bawah yang cepat pertumbuhannya banyak di jumpai di pinggiran hutan atau pada semak belukar. Tanaman ini indikator tanah masam. (Foto: Kurniatun Hairiah)

1. Komponen penyusun cadangan karbon di tingkat lahan

Latar belakang

Salah satu cara untuk mengendalikan perubahan iklim adalah dengan mengurangi emisi gas rumah kaca (CO_2 , CH_4 , N_2O) yaitu dengan mempertahankan keutuhan hutan alami dan meningkatkan kerapatan populasi pepohonan di luar hutan.

Tumbuhan baik di dalam maupun di luar kawasan hutan menyerap gas asam arang (CO_2) dari udara melalui proses fotosintesis, yang selanjutnya diubah menjadi karbohidrat, kemudian disebarkan ke seluruh tubuh tanaman dan akhirnya ditimbun dalam tubuh tanaman. Proses penimbunan karbon (C) dalam tubuh tanaman hidup dinamakan *proses sekuestrasi (C-sequestration)*. Dengan demikian mengukur jumlah karbon yang disimpan dalam tubuh tanaman hidup (biomasa) pada suatu lahan dapat menggambarkan banyaknya CO_2 di atmosfer yang diserap oleh tanaman. Sedangkan pengukuran cadangan karbon yang masih tersimpan dalam bagian tumbuhan yang telah mati (nekromasa) secara tidak langsung menggambarkan CO_2 yang tidak dilepaskan ke udara lewat pembakaran.

Jumlah cadangan karbon antar lahan berbeda-beda, tergantung pada keanekaragaman dan kerapatan tumbuhan yang ada, jenis tanahnya serta cara pengelolaannya. Penyimpanan karbon pada suatu lahan menjadi lebih besar bila kondisi kesuburan tanahnya baik, karena biomasa pohon meningkat, atau dengan kata lain cadangan karbon di atas tanah (biomasa tanaman) ditentukan oleh besarnya cadangan karbon di dalam tanah (bahan organik tanah). Untuk itu pengukuran banyaknya karbon yang disimpan dalam setiap lahan perlu dilakukan.

Berkenaan dengan adanya konsep pengendalian perubahan iklim internasional melalui skema "REDD+" yaitu Reduksi Emisi akibat Deforestasi dan Degradasi Hutan plus, maka upaya konservasi dan pengelolaan kelestarian hutan serta peningkatan cadangan karbon hutan di negara berkembang perlu dilakukan. Untuk mengetahui besarnya perubahan (penurunan emisi karbon) akibat konservasi hutan dan penggunaan lahan lainnya diperlukan sistem untuk mendokumentasikan, melaporkan, dan memverifikasikan perubahan cadangan karbon secara transparan, konsisten dan dapat dibandingkan, lengkap dan akurat. Sistem tersebut dinamakan sistem MRV.

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

Pada ekosistem daratan, cadangan karbon disimpan dalam 3 komponen pokok, yaitu:

1. Bagian hidup (biomasa): masa dari bagian vegetasi yang masih hidup yaitu batang, ranting dan tajuk pohon (berikut akar atau estimasinya), tumbuhan bawah atau gulma dan tanaman semusim.
2. Bagian mati (nekromasa): masa dari bagian pohon yang telah mati baik yang masih tegak di lahan (batang atau tunggul pohon), kayu tumbang/tergeletak di permukaan tanah, tonggak atau ranting dan daun-daun gugur (seresah) yang belum terlapuk.
3. Tanah (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 karbon tersebut dapat dibedakan menjadi 2 kelompok yaitu:

a. Karbon di atas permukaan tanah, meliputi:

- *Biomasa pohon*. Proporsi terbesar cadangan karbon di daratan umumnya terdapat pada komponen pepohonan. Untuk mengurangi tindakan perusakan selama pengukuran, biomasa pohon dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan allometrik yang didasarkan pada pengukuran diameter batang (dan tinggi pohon, jika ada).
- *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 cadangan karbon 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 karbon 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

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

mm), sedangkan pada tanah pertanian lebih didominasi oleh akar-akar halus yang lebih pendek daur hidupnya. Biomasa akar dapat pula diestimasi berdasarkan diameter akar (akar utama), 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.



Foto 1. Penyimpan karbon dalam biomasa tanaman yaitu: pepohonan dan tumbuhan bawah di lahan hutan dan agroforestri (nomor 1-4); Penyimpan karbon dalam nekromasa kayu dan ranting, arang, seresah daun dan bahan organik serta bahan organik tanah (nomor 5-8)



Prosedur sederhana dapat mengurangi kesalahan pengukuran (Foto: Kurniatun Hairiah)

2. Pengukuran cadangan karbon di tingkat lahan

Mengukur cadangan karbon di hutan dan lahan pertanian cukup mudah dan dapat dilakukan sendiri, kapan saja dibutuhkan dan peralatan yang digunakan juga sederhana. Ada 4 tahap pengukuran yaitu:

1. Mengenal nama jenis pohon untuk mencari nilai berat jenis (BJ) pohon pada daftar BJ kayu pohon yang telah ada
2. Mengukur volume dan biomasa semua tanaman dan kayu mati yang ada pada suatu luasan lahan
3. Mengukur kadar total karbon tanaman di laboratorium
4. Menaksir kandungan karbon tersimpan pada lahan yang bersangkutan berdasarkan tahap 1-3

Pengukuran biomasa tanaman dapat dilakukan dengan cara:

1. TANPA MELAKUKAN PERUSAKAN (metode *non destructive*), jika jenis tanaman yang diukur sudah diketahui rumus allometriknya.
2. MELAKUKAN PERUSAKAN (metode *destructive*). Metode ini dilakukan oleh peneliti untuk tujuan pengembangan rumus allometrik, terutama pada jenis-jenis pohon yang mempunyai pola percabangan spesifik yang belum diketahui persamaan allometriknya secara umum. Pengembangan allometrik dilakukan dengan menebang pohon dan mengukur diameter, panjang dan berat masanya. Metode *destructive* juga dilakukan pada tumbuhan bawah, tanaman semusim dan perdu. Alat-alat yang diperlukan untuk pengukuran dapat dilihat dalam Box 1.

Tentukan dan catat jenis penggunaan lahan yang akan diukur. Jenis penggunaan lahan bisa dibedakan berdasarkan kerapatan tutupan lahannya, mulai dari yang memiliki tutupan rapat (hutan alami), sedang (kebun campuran atau agroforestri) dan terbuka (lahan pertanian semusim).

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

Tahapan kegiatan pengukuran biomasa tanaman adalah:

1. Membuat plot permanen (transek pengukuran) terutama di hutan yang dipilih untuk diusulkan dalam REDD+
2. Mengukur volume dan biomasa pohon
3. Mengukur biomasa tumbuhan bawah

Box 1. Alat-alat yang dibutuhkan untuk pengukuran biomasa

1. Pita ukur (meteran) berukuran panjang 50 m
2. Tali plastik berukuran panjang 100 m dan 20 m atau 40 m dan 5 m tergantung ukuran petak contoh yang akan dibuat
3. Tongkat kayu/bambu sepanjang 2.5 m untuk mengukur lebar sub plot utama ke sebelah kiri dan kanan dari garis tengah, atau 10 m untuk plot
4. Tongkat kayu/bambu sepanjang 1.3 m untuk memberi tanda pada pohon yang akan diukur diameternya
5. Patok kayu (paralon) sepanjang 1 m untuk penanda apabila plot tersebut akan dijadikan plot permanen
6. Pita ukur (meteran) berukuran minimal 5 m untuk mengukur lilit batang atau jangka sorong untuk mengukur diameter pohon ukuran kecil
7. Parang atau gunting tanaman
8. Spidol warna biru atau hitam
9. Alat pengukur tinggi pohon (Hagameter, Clinometer atau alat pengukur tinggi lainnya)
10. Blangko pengamatan
11. GPS dan kompas

2.1 Pembuatan petak contoh permanen

Untuk membuat petak contoh pengukuran ikuti ukuran baku petak contoh (transek) seperti yang tertulis pada Box 2.

Box 2. Ukuran petak contoh pengukuran

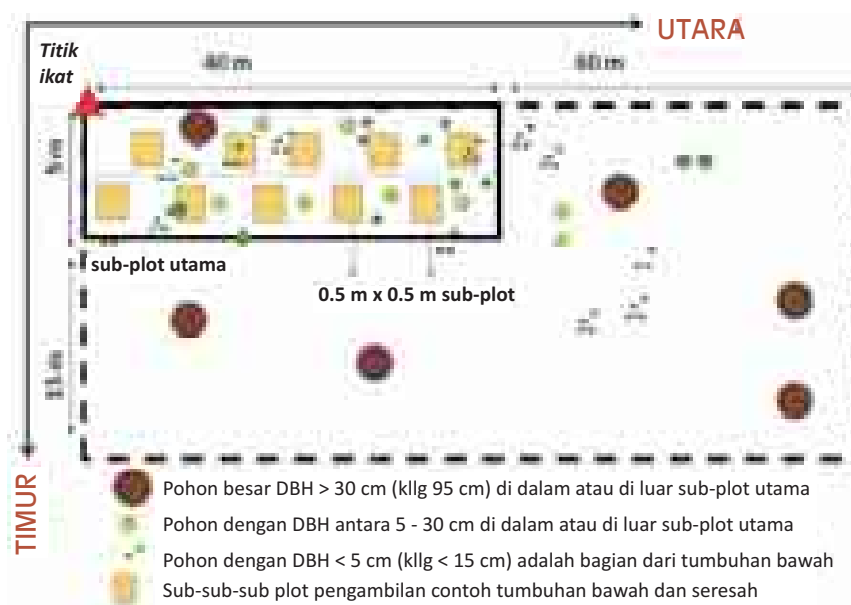
- Petak contoh (sub plot utama) ukuran 40 m x 5m: untuk pengukuran cadangan karbon di hutan alami, semak belukar, dan agroforestri dengan tingkat kerapatan pohon tinggi. Pohon yang diukur adalah pohon dengan diameter 5 cm hingga 30 cm (atau lingkaran/lilit pohon 15 cm – 95 cm).
- Petak contoh (plot) ukuran 100 m x 20 m, plot ini dibuat jika dalam plot tersebut terdapat pohon dengan diameter lebih besar dari 30 cm (lingkaran/lilit 95 cm), maka buatlah plot kedua yang lebih besar 100 m x 20 m. Lakukan pengukuran hanya pada pohon besar saja dengan diameter lebih dari 30 cm (Lihat Gambar 1). Bila kondisi tidak memungkinkan untuk membuat plot tersebut karena terhambat oleh faktor alami seperti jurang, sungai, batu besar maka potongan plot bisa dipindahkan ke tempat lain di dekatnya (Lihat Gambar 2)
- Plot ukuran 40 m x 40 m: plot ini khusus untuk pengukuran cadangan karbon pada lahan perkebunan atau agroforestri dengan jarak tanam pohon yang lebar (6 m x 6 m).

Cara:

1. Pilih lokasi dengan kondisi vegetasi yang cukup seragam yang dapat mewakili jenis tutupan lahan yang bersangkutan.
2. Buatlah plot transek pada lahan yang dipilih searah dengan mata angin (Foto 2A dan 2B), dengan langkah sebagai berikut:
 - Lemparkan sebatang ranting secara acak untuk menentukan titik ikat dari plot pengukuran.
 - Beri tanda dengan patok kayu (sebagai titik ikat) dan rekam posisi titik ikat menggunakan GPS (Gambar 1).
 - Ikatkan tali plastik 40 m tariklah ke arah utara. Ikatkan tali lain sepanjang 5 m ke arah timur. Lanjutkan pemasangan patok di 3 sudut yang lain dan ikat tali-tali yang lain hingga diperoleh plot pengukuran sebesar 40 m x 5 m = 200 m² (disebut sub plot utama).

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

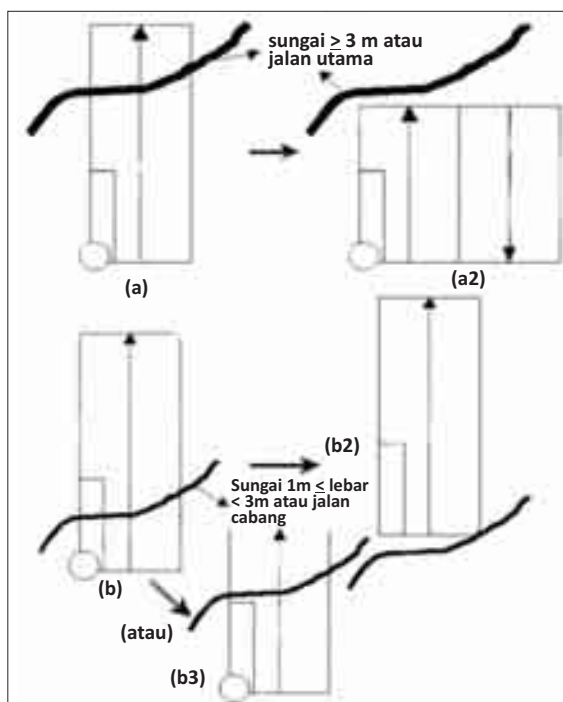
- Catat dan buat sketsa plot permanen yang telah dibuat dari titik ikat dengan keterangan arah mata angin (contoh: 100 m ke arah utara dan 20 m ke arah timur dari titik ikat).
 - Buatlah sub plot utama lebih dari satu bila kondisi lahan tidak seragam (misalnya kondisi vegetasi dan tanahnya beragam). Satu sub plot utama mewakili satu kondisi.
 - Buatlah sub plot utama lebih dari satu bila kondisi tanahnya berlereng, buatlah satu sub plot utama di setiap bagian lereng (atas, tengah dan lereng bawah).
3. Buat plot kedua dengan ukuran yang lebih besar (20 m x 100 m) bila dalam lahan yang diamati terdapat pohon besar (diameter batang lebih dari 30 cm atau lingkaran batang lebih dari 95 cm) lihat Gambar 1.
4. Khusus untuk sistem agroforestri atau perkebunan dengan jarak tanam yang jarang, (misalnya perkebunan kelapa sawit) maka buatlah plot ukuran 20 m x 100 m = 2000 m².
- Tentukan minimal 6 sub plot pada setiap sub plot utama untuk pengambilan contoh tumbuhan bawah, seresah dan tanah; setiap titik berukuran 0.5 m x 0.5 m = 0.25 m².



Gambar 1. Sketsa pembuatan plot permanen untuk pengukuran seluruh komponen cadangan karbon per lahan

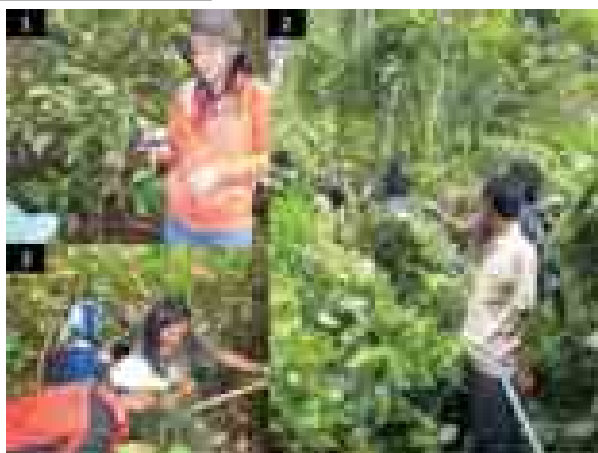
Pemindahan dan modifikasi plot

Jika kondisi lapangan tidak memungkinkan untuk membuat plot baku maka modifikasi atau penggeseran lokasi dapat dilakukan. Kondisi lapangan yang mungkin dijumpai misalnya jika plot harus memotong parit yang cukup lebar (≥ 3 meter) atau harus melewati jurang. Metode pemindahan atau modifikasi plot dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kaidah perubahan atau pemindahan plot; pemindahan dilakukan dengan membagi ke dalam dua jalur yang berhimpitan (Gambar a; a2); mengubah posisi plot dengan memajukan atau memundurkan posisi plot, tetapi tetap berada di jalur yang sama (gambar b, b2, b3, (dikutip dari IHMB, 2009))

Foto 2A. Pembuatan sub plot utama pengukuran cadangan karbon di hutan alami: perekaman geoposisi titik ikat menggunakan GPS, pengukuran sub plot utama 5 m x 40 m, dan pembuatan siku sub plot utama



PENGUKURAN CADANGAN KARBON



Foto 2B. Pembuatan sub plot utama pengukuran cadangan karbon; penentuan arah pembuatan plot (1), pengukuran sub plot utama 5 m x 40 m (2 dan 3), pembuatan siku sub plot utama (3), pemberian patok di sudut plot sebagai tanda bila plot akan dijadikan plot permanen (4)

2.2. Penaksiran biomasa tanaman

2.2.1. Biomasa pohon

Biomasa pohon ada 2: bagian di atas tanah dan bagian dalam tanah (akar). Pengukuran biomasa pohon dapat dilakukan dengan menaksir volume pohon (tanpa melakukan perusakan atau '*non destructive*'). Volume pohon dapat ditaksir dari ukuran diameter batangnya, yang diukur setinggi dada (*diameter at breast height* - DBH atau 1.3 m dari permukaan tanah). Jika diperlukan maka tinggi pohon juga dapat diukur untuk mempertinggi akurasi estimasi volume pohonnya. Pengukuran ini sebaiknya dilakukan oleh minimal 2 orang tenaga kerja. Sedang akar tanaman dapat ditaksir menggunakan nilai terpasang (*default value*).

Cara mengukur diameter pohon:

- Bagilah sub plot utama menjadi 2 bagian, dengan memasang tali di bagian tengah sehingga ada 2 sub plot utama, masing-masing berukuran 40 m x 2.5 m
- Catat nama lokal dan/atau nama latin (jika dapat diketahui) dari pohon yang akan diukur.

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

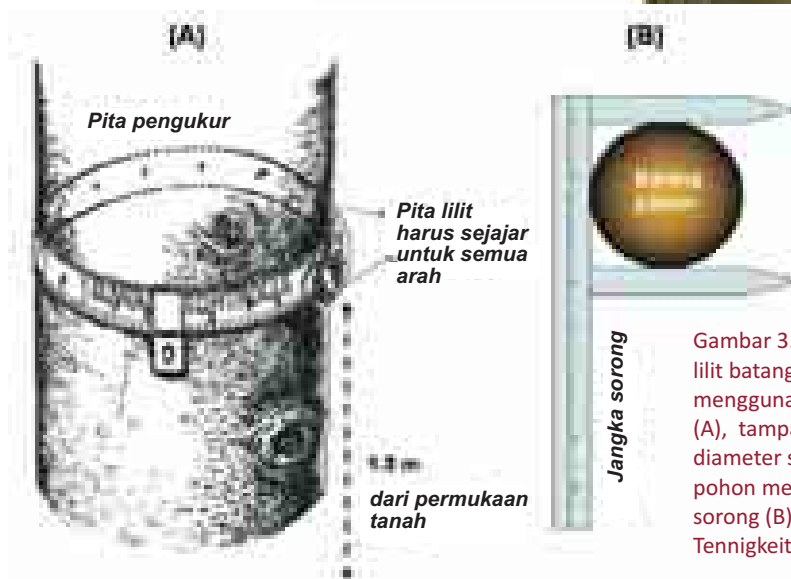
- c. Ukurlah DBH. Untuk mempermudah penggunaan tongkat kayu sepanjang 1.3 m, letakkan tegak lurus permukaan tanah di dekat pohon yang akan diukur, berilah tanda goresan pada batang pohon.
- d. Lilitkan pita pengukur pada batang pohon, dengan posisi pita harus sejajar untuk semua arah (Gambar 3A dan Foto 4), sehingga data yang diperoleh adalah lingkaran/lilit batang (keliling batang = $2 \pi r$) BUKAN diameter batang. Bila diameter pohon hanya berukuran antara 5-20 cm, gunakan jangka sorong ('*calliper*') untuk mengukur DBH (Gambar 3B), data yang diperoleh adalah diameter pohon. Ukurlah diameter atau lingkaran batang semua pohon yang masuk dalam sub plot utama (Foto 3).
- e. Lakukan pengukuran DBH hanya pada pohon berdiameter 5 cm hingga 30 cm. Pohon dengan DBH kurang dari 5 cm TIDAK DIUKUR karena tergolong dalam tumbuhan bawah. Bila permukaan tanah di lapangan dan bentuk pohon tidak rata, maka penentuan titik pengukuran DBH pohon dapat dilihat dalam Box 3.



Foto 3. Pengukuran diameter batang DBH pohon (1) pengukuran DBH pohon besar di hutan (2), pengukuran DBH pohon bercabang, percabangan terjadi pada ketinggian <1.3 m dari permukaan tanah (3)

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

Foto 4. Pengukuran DBH pohon yang benar dan salah



Gambar 3. Cara pengukuran lilit batang pohon menggunakan pita pengukur (A), tampak atas pengukuran diameter setinggi dada (DBH) pohon menggunakan jangka sorong (B) (Weyerhaeuser dan Tennigkeit, 2000)

- f. Catatlah lingkaran lilit batang atau diameter batang dari setiap pohon yang diamati pada blangko pengamatan yang telah disiapkan (Tabel 1).
- g. Khusus untuk pohon-pohon yang batangnya rendah dan bercabang banyak, misalnya pohon kopi yang dipangkas secara reguler, maka ukurlah diameter semua cabang. Bila pada sub plot utama terdapat tanaman jenis tidak bercabang seperti bambu dan pisang, maka ukurlah diameter dan tinggi masing-masing individu dalam setiap rumpun tanaman. Demikian

pula bila terdapat pohon tidak bercabang seperti kelapa atau tanaman jenis palem lainnya.

- h. Kadang-kadang di lapangan dijumpai beberapa penyimpangan kondisi percabangan pohon atau permukaan batang pohon yang bergelombang atau adanya banir pohon, maka cara penentuan DBH dapat dilakukan seperti pada Box 3 dan 4. Catat semua data yang di peroleh.
- i. Bila terdapat tunggul bekas tebangan yang masih hidup dengan tinggi > 50 cm dan diameter > 5 cm, maka ukurlah diameter batang dan tingginya (lihat Box 5).

Khusus pohon yang tumbuh di tempat terbuka (terpisah dari pohon-pohon lainnya) maka beri tanda khusus dalam blanko pengamatan, karena tinggi pohon menjadi lebih rendah sekitar 30% dari pohon yang tumbuh di tempat tertutup. Dengan demikian, berat masanya HARUS dikalikan dengan 0.75.

Penetapan berat jenis kayu

Bila pohon yang diukur belum ada dalam daftar BJ kayu, maka tetapkan berat jenis (BJ) kayu dari masing-masing jenis pohon dengan jalan memotong kayu dari salah satu cabang, lalu ukur panjang, diameter dan timbang berat basahnya. Masukkan dalam oven, pada suhu 100°C (derajat) selama 48 jam dan timbang berat keringnya. Hitung volume dan BJ kayu dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Volume (cm}^3\text{)} = \pi R^2 T$$

Dimana:

$$\pi = 3.14$$

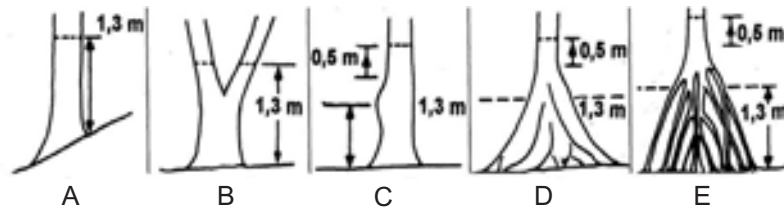
$$R = \text{jari-jari potongan kayu} = \frac{1}{2} \times \text{Diameter (cm)}$$

$$T = \text{panjang kayu (cm)}$$

Berat jenis (BJ) kayu dihitung dengan rumus:

$$\text{BJ (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Berat kering (g)}}{\text{Volume (cm}^3\text{)}}$$

Box 3. Cara penentuan titik pengukuran DBH batang pohon bergelombang atau bercabang rendah



Gambar 4. Skematis cara menentukan ketinggian pengukuran DBH batang pohon yang tidak beraturan bentuknya (Weyerhaeuser dan Tennigkeit, 2000)

Keterangan:

- Pohon pada lahan berlereng, letakkan ujung tongkat 1.3 m pada lereng bagian atas.
- Pohon bercabang sebelum ketinggian 1.3 m, maka ukurlah DBH semua cabang yang ada.
- Bila pada ketinggian 1.3 m terdapat benjolan, maka lakukanlah pengukuran DBH pada 0.5 m setelah benjolan.
- Bila pada ketinggian 1.3 m terdapat banir (batas akar papan) maka lakukan pengukuran DBH pada 0.5 m setelah banir. Namun bila banir tersebut mencapai ketinggian > 3 m, maka diameter batang diestimasi (lihat Box 4)

Bila pada ketinggian 1.3 m terdapat akar-akar tunjang, maka lakukan pengukuran pada 0.5 m setelah perakaran.

Box 4. Cara penentuan titik pengukuran DBH pohon bercabang dan pohon dengan banir tinggi

Bila di lapangan dijumpai cabang pohon terletak dekat titik setinggi 1.3 m, geserlah titik pengukuran DBH 0.5 m di atas titik percabangan (Foto 5.1). Bila letak batas banir pohon cukup tinggi > 3 m (Foto 5.2) maka pengukuran DBH memerlukan tangga yang cukup panjang, **JANGAN PANJAT POHON**, cara tersebut berbahaya. Untuk itu lakukan dengan cara lain (lihat Box 5).

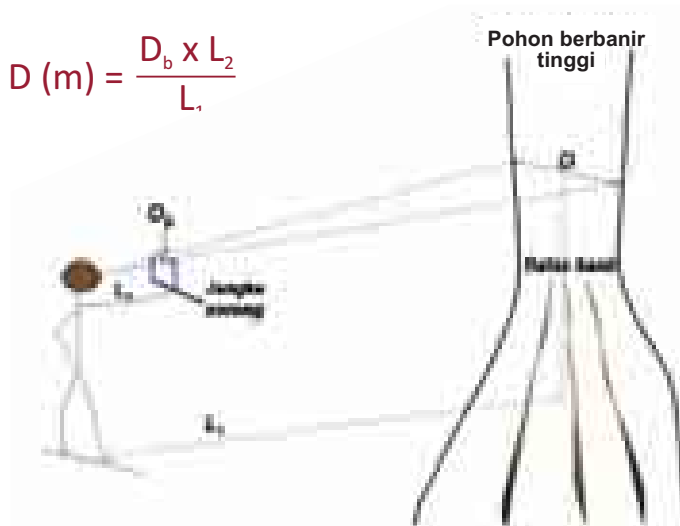


Foto 5. Penentuan titik pengukuran DBH pohon bercabang rendah (1) dan pada pohon berbanir tinggi (2)

Box 5. Estimasi diameter pohon berbanir tinggi

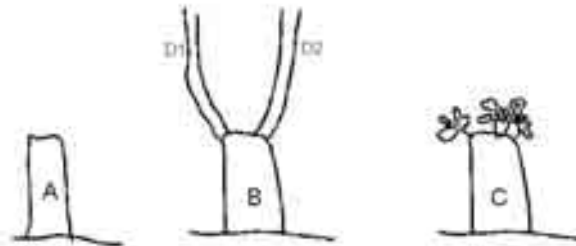
- Ukurlah panjang lengan anda (L_1 , m), lihat gambar skematis 5
- Berdirilah di depan pohon yang akan diukur, pandangan mata lurus ke batang pohon di atas banir
- Ukurlah jarak tempat anda berdiri dengan batang pohon (L_2 , m)
- Ukurlah diameter batang pohon (D , m) dengan menggeserkan jangka sorong, catatlah diameter bacaan yang diperoleh (D_b)
- Hitunglah diameter dengan rumus:

$$D (m) = \frac{D_b \times L_2}{L_1}$$



Gambar 5. Skema estimasi diameter pohon yang berbanir tinggi berdasarkan pendekatan geometri

Box 6. Cara pengukuran diameter tunggul pohon



Gambar 6. Berbagai cara pengukuran tonggak tanaman hidup.

- Bila ditemukan tunggul tanpa tunas (trubus), lakukan pengukuran diameter dan tinggi tunggul
- Bila pada tunggul terdapat cabang-cabang hidup, maka ukurlah masing-masing cabang yang berdiameter > 5 cm saja.
- Bila pada tunggul terdapat tunas baru dengan diameter cabang < 5 cm, maka lakukan pengukuran diameter dan tinggi tunggul saja. Potonglah cabang-cabang kecil tersebut, kumpulkan dan timbang berat basahya. Ambil contoh cabang, masukkan dalam oven pada suhu 80°C selama 2 hari, timbang berat keringnya.

Catatan:

Apabila pohon merupakan jenis komersial bernilai ekonomi tinggi, maka ambil 2-3 cabang saja, tentukan berat basah dan berat keringnya. Hitung jumlah cabang yang tumbuh pada tunggul, sehingga berat total cabang bisa diestimasi.

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

Pengumpulan dan pengolahan data

Tulis semua data yang diperoleh dari pengukuran DBH (pohon hidup) ke dalam "lembar pengamatan biomasa" (Tabel 1), buatlah tabulasi data dalam program EXCELL untuk penghitungan lebih lanjut. Pisahkan penghitungan biomasa pohon besar (Tabel 1A) dan pohon kecil (Tabel 1B) untuk memudahkan konversi ke luasan pengukuran.

Tabel 1A: Lembar pengukuran biomasa: diameter dan tinggi pohon-pohon besar (diameter > 30 cm)

Nama lokasi: _____
Umur kebun setelah pembukaan lahan: _____
Jenis penggunaan lahan: _____
Penggunaan lahan sebelumnya: _____
Nama pengukur: _____
Tanggal/Bulan/Tahun: _____
Lokasi (GPS): _____
Ukuran Plot Contoh: 20m x 100 m = 2000 m²

No	Nama Pohon	Bercabang/ Tidak	K	D	T	π	BK-biomasa, kg/pohon	Catatan
1							
2							
3							
4							
...							
...							
100							
TOTAL BIOMASA POHON								

Keterangan: K = lingkar/lilit batang, cm; D = DBH = K/ π , dimana π = 3.14 cm;
T = tinggi pohon, cm; π = BJ kayu, g cm⁻³; BK = Berat Kering

Tabel 1B: Lembar pengukuran biomasa: diameter dan tinggi pohon-pohon sedang (diameter 5-30 cm)

Nama lokasi: _____
 Umur kebun setelah pembukaan lahan: _____
 Jenis penggunaan lahan: _____
 Jenis penggunaan lahan sebelumnya: _____
 Nama pengukur: _____
 Tanggal/Bulan/Tahun: _____
 Lokasi (GPS): _____
 Ukuran plot contoh: 5m x 40 m = 200 m²

No	Nama Pohon	Bercabang/Tidak	K	D	T	π	BK-biomasa, kg/pohon	Catatan
1							
2							
3							
4							
...							
...							
100							
TOTAL BIOMASA POHON								

Keterangan: K = lingkaran/lilit batang, cm; D = DBH = K/ π , dimana π = 3.14 cm; T = tinggi pohon, cm; π = BJ kayu, g/cm³; BK = Berat Kering

Pengolahan data

Biomasa pohon di lahan hutan alami

1. Hitunglah biomasa pohon menggunakan persamaan allometrik yang telah dikembangkan oleh peneliti-peneliti sebelumnya (Tabel 2 dan Tabel 3), dimana pengukurannya diawali dengan penebangan dan penimbangan beberapa pohon.
2. Pilihlah persamaan allometrik yang sesuai dengan lokasi pengukuran. Persamaan dibedakan menurut zona iklim, karena jenis pohon yang tumbuh berbeda dan kecepatan tumbuhnya pun berbeda pula. Zona iklim dibedakan menurut rata-rata curah hujan tahunan, yaitu zona kering dengan rata-rata curah hujan <1500 mm/tahun, lembab dengan rata-rata curah hujan 1500-

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

4000 mm/tahun, dan basah dengan rata-rata curah hujan >4000 mm/tahun (Tabel 2).

- Pergunakan persamaan allometrik yang tepat. Untuk menaksir biomasa pohon di hutan daerah tropis, direkomendasikan untuk menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh Chave *et al.* (2005). Dasar pemilihan persamaan tersebut dapat dilihat di Box 7. Pengembangan persamaan tersebut menggunakan data-data hasil pengukuran berbagai jenis pohon di hutan alami dari beberapa negara yang kondisi iklimnya berbeda antara lain Indonesia, Kamboja, India, Malaysia, Brazil, Venezuela, Mexico, Costa Rica, Puerto Rico, Australia, New Guinea dsb. Di setiap zona terdapat 2 persamaan (Tabel 2), bila data tinggi pohon tersedia maka disarankan untuk menggunakan persamaan no 1. Tetapi bila tidak ada, maka pergunakanlah persamaan no 2 yang hanya menggunakan data diameter batang. Sedangkan data BJ kayu mutlak diperlukan untuk kedua persamaan.
- Bila fasilitas komputer tidak ada, maka penghitungannya lihat daftar cadangan karbon Lampiran 1.
- Jumlahkan biomasa semua pohon yang ada pada suatu lahan, baik yang ukuran besar maupun yang kecil, sehingga diperoleh total biomasa pohon per lahan (kg/luasan lahan).

Tabel 2. Rumus-rumus allometrik untuk menaksir biomasa pohon di hutan berdasarkan zona iklimnya (Chave *et al.*, 2005).

Curah hujan (mm/tahun)	Rumus allometrik
Kering (<1500)	1. $(AGB)_{est} = 0.112 (\pi D^2 H)^{0.916}$
	2. $(AGB)_{est} = \pi * \exp(-0.667 + 1.784 \ln(D) + 0.207 (\ln(D))^2 - 0.0281 (\ln(D))^3)$
Humid/Lembab (1500-4000)	1. $(AGB)_{est} = 0.0509 \times \pi D^2 H$
	2. $(AGB)_{est} = \pi * \exp(-1.499 + 2.148 \ln(D) + 0.207 (\ln(D))^2 - 0.0281 (\ln(D))^3)$
Basah (>4000)	1. $(AGB)_{est} = 0.0776 * (\pi D^2 H)^{0.94}$
	2. $(AGB)_{est} = \pi * \exp(-1.239 + 1.980 \ln(D) + 0.207 (\ln(D))^2 - 0.0281 (\ln(D))^3)$

Keterangan: $(AGB)_{est}$ = biomasa pohon bagian atas tanah, kg/pohon; D=DBH, diameter batang setinggi dada, cm; H = tinggi pohon, m; π = BJ kayu, g/cm³
 Persamaan no.1 digunakan apabila memiliki data tinggi dan diameter pohon;
 Persamaan no.2 digunakan apabila hanya memiliki data diameter pohon

Box 7. Rumus allometrik untuk menaksir biomasa pohon bercabang dan pohon dengan banir tinggi (Meine van Noordwijk dan Degi Harja)

Untuk menaksir potensi pohon sebagai penyerap dan penyimpan karbon, dibutuhkan penaksiran (estimasi) biomasa pohon. Penggunaan rumus allometrik sederhana yang dapat mewakili berbagai jenis pohon yang tumbuh di hutan alami dari berbagai negara mungkin dapat digunakan untuk mengurangi kerusakan hutan selama pengukuran.

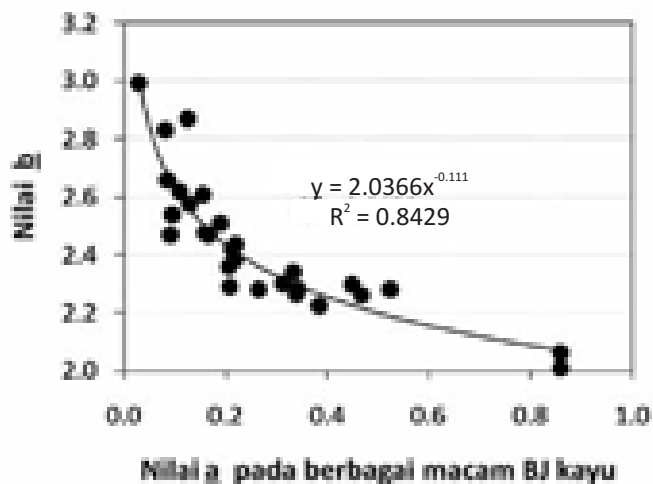
Biomasa pohon di hutan sekunder atau di lahan agroforestri biasanya ditaksir dengan menggunakan rumus allometrik sederhana yang dikembangkan oleh Ketterings *et al.* (2001):

$$Y = a \rho D^b$$

Dimana: a = intersepsi dengan sumbu Y; b= koefisien arah;
 ρ = BJ kayu (g/cm^3); D= DBH (cm).

Dengan menggunakan berbagai rumus allometrik yang telah dikembangkan sebelumnya antara lain oleh Ketterings *et al.* (2001), Chave *et al.* (2005), Waterloo (1995), Santos (2005), Siregar dan Dharmawan (2000) untuk menduga berbagai jenis pohon yang tumbuh di hutan alami di beberapa negara antara lain Indonesia, Kamboja, India, Malaysia, Brazil, Venezuela,

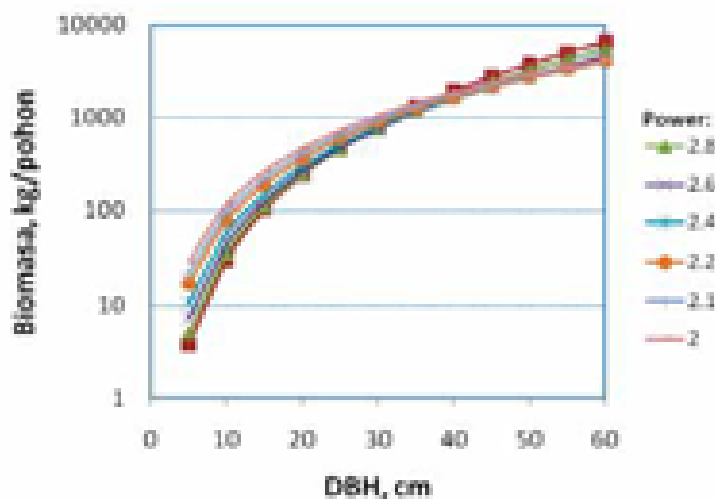
Mexico, Costa Rica, Puerto Rico, Australia, New Guinea dsb, maka diketahui bahwa 2 parameter **a** dan **b** yang digunakan dalam rumus tersebut di atas ternyata hanya satu derajat bebas (*degree of freedom*), karena parameter **a** dan **b** berhubungan sangat erat (Gambar 7).



Gambar 7. Hubungan empiris antara nilai **a** (intersepsi) dengan **b** (koefisien arah) dari berbagai rumus allometrik yang digunakan untuk penaksiran biomasa pohon (bagian di atas tanah) yang dikoreksi dengan nilai berat jenis (BJ) kayunya ($\rho = \text{rho}$)

Lanjutan Box 7.

Bila hubungan empiris parameter a dan b dimasukkan ke dalam berbagai rumus allometrik yang ada untuk menaksir biomasa pohon dengan DBH pohon < 30 cm (Gambar 8), ternyata hasil yang diperoleh hampir semuanya sama. Untuk nilai b yang rendah, maka pohon berdiameter kecil diperoleh biomasa pohon yang lebih besar. Tetapi untuk pohon berdiameter besar diperoleh biomasa yang lebih kecil, dan sebaliknya.

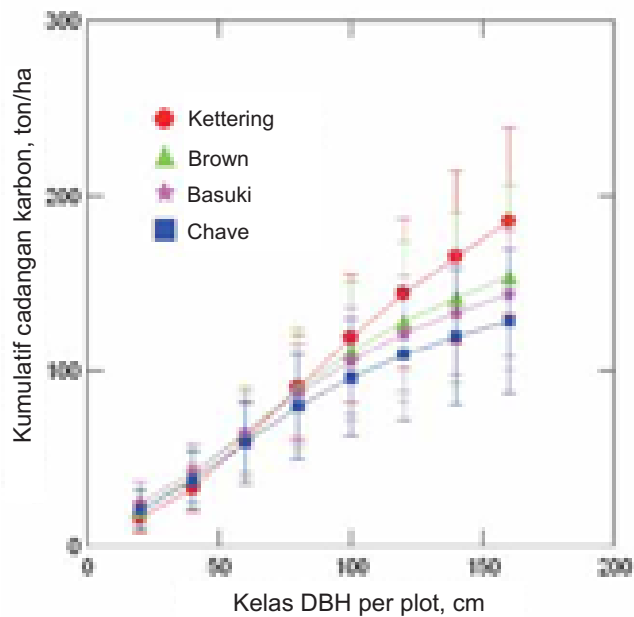


Gambar 8. Hubungan antara DBH dengan biomasa pohon dalam persamaan allometrik dengan berbagai nilai b saja (nilai a dan b saling berhubungan, lihat Gambar 7)

Bila semua rumus allometrik yang ada diaplikasikan untuk estimasi biomasa seluruh jenis pohon di hutan, ternyata biomasa pohon kecil (DBH pohon < 30 cm dan ada beberapa yang mencapai 50 atau 60 cm) tidak dipengaruhi oleh rumus allometrik yang digunakan TETAPI untuk pohon dengan DBH > 60 cm, maka pemilihan rumus allometrik yang digunakan mempunyai efek yang besar. Dengan demikian untuk penaksiran biomasa pohon besar masih diperlukan rumus allometrik khusus. Namun demikian, persamaan allometrik spesifik lokasi hanya bisa dipercaya melalui penebangan beberapa pohon ukuran raksasa, tetapi hal tersebut tidak mungkin untuk dilakukan. Dengan demikian, kita harus menerima adanya kesalahan dalam penaksiran biomasa pohon berdiameter besar.

Lanjutan Box 7.

Pembandingan hasil penaksiran biomasa pohon dilakukan dengan menggunakan data DBH pohon dari 21 plot dalam kegiatan NFI (National of Forest Inventory) (Harja *et al.*, 2011) ke dalam rumus allometrik dari Chave *et al.* (2005), Brown *et al.* (1989) Ketterings *et al.* (2001) dan Basuki *et al.* (2009), menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang nyata pada cadangan karbon untuk pohon-pohon berdiameter <60 cm (Gambar 9). TETAPI untuk DBH pohon >60 cm maka penaksiran menggunakan rumus Ketterings *et al.* (2001) menunjukkan hasil yang jauh lebih besar dari pada ketiga rumus lainnya.



Gambar 9. Hubungan berbagai kelas DBH pohon dengan kumulatif cadangan karbon berdasarkan data pengukuran dari 21 petak contoh di kawasan hutan

Biomasa pohon di lahan agroforestri

Bentuk percabangan dan produksi biomasa pohon dalam sistem agroforestri dipengaruhi oleh pengelolaannya seperti pemangkasan, pengaturan jarak tanam, pemupukan dan penyiangan. Dengan demikian, persamaan allometrik yang digunakan untuk menaksir biomasa pohon berbeda dengan yang digunakan untuk pohon yang tumbuh di hutan (Tabel 3).

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

1. Masukkan data diameter pohon, BJ kayu dan tinggi pohon (bila ada) sesuai dengan rumus-rumus yang sesuai, sehingga diperoleh biomasa per pohon (kg/pohon).
2. Jumlahkan data biomasa semua pohon yang diperoleh pada satu lahan, baik yang ukuran besar maupun yang kecil, sehingga diperoleh total biomasa pohon per lahan (kg/luasan lahan).

Tabel 3. Rumus-rumus allometrik untuk menduga biomasa beberapa jenis tanaman yang umum ditanam pada lahan agroforestri

Jenis pohon	Rumus allometrik	Sumber
Kopi dipangkas	$(AGB)_{est} = 0.281 D^{2.06}$	Arifin, 2001
Kakao	$(AGB)_{est} = 0.1208 D^{1.98}$	Yuliasmara, <i>et al.</i> 2009
Kelapa sawit	$(AGB)_{est} = 0.0976 H + 0.0706$	ICRAF, 2009
Palem	$(AGB)_{est} = \exp\{-2.134 + 2.530 \times \ln(D)\}$ $(AGB)_{est} = 4.5 + 7.7 \times H$	Brown, 1997 Frangi dan Lugo, 1985
Bambu	$(AGB)_{est} = 0.131 D^{2.28}$	Priyadarsini, 2000
Pisang	$(AGB)_{est} = 0.030 D^{2.13}$	Arifin, 2001

Keterangan: $(AGB)_{est}$ = biomasa pohon bagian atas tanah, kg/pohon; D = DBH, diameter batang setinggi dada, cm; H = tinggi pohon, m; = BJ kayu, g/cm^3

Contoh penghitungan

Coba hitung berapa biomasa pohon dari data berikut ini dengan menggunakan rumus allometrik untuk daerah lembab dari Chave *et al.* (2005) (Tabel 2). Dalam satu plot contoh seluas 40m x 5m (200 m²) di daerah beriklim lembab, misalnya terdapat 6 pohon dengan ukuran DBH masing-masing adalah 5, 10, 15, 20, 25 dan 30 cm. BJ-kayu 0.7 g/cm³.

Lakukanlah penghitungan sebagai berikut:

- Pohon 1: $AGB_1 = 0.7 \times \exp(-0.667+1.784 \ln(5)+0.207 (\ln(5))^2-0.0281 (\ln(5))^3) = 7.5$ kg
- Pohon 2: $AGB_2 = 0.7 \times \exp(-0.667+1.784 \ln(10)+0.207 (\ln(10))^2-0.0281 (\ln(10))^3) = 46.7$ kg
- Pohon 3: $AGB_3 = 0.7 \times \exp(-0.667+1.784 \ln(15)+0.207 (\ln(15))^2-0.0281 (\ln(15))^3) = 137$ kg
- Pohon 4: $AGB_4 = 0.7 \times \exp(-0.667+1.784 \ln(20)+0.207 (\ln(20))^2-0.0281 (\ln(20))^3) = 293$ kg

- Pohon 5: $AGB_2 = 0.7 \times \exp(-0.667 + 1.784 \ln(25) + 0.207 (\ln(25))^2 - 0.0281 (\ln(25))^3) = 526 \text{ kg}$
- Pohon 6: $AGB_2 = 0.7 \times \exp(-0.667 + 1.784 \ln(30) + 0.207 (\ln(30))^2 - 0.0281 (\ln(30))^3) = 845 \text{ kg}$

Total biomasa 6 pohon dalam $200 \text{ m}^2 = AGB_1 + AGB_2 + AGB_3 + AGB_4 + AGB_5 = 1856 \text{ kg}$
 Maka biomasa pohon besar per $\text{m}^2 = 1856 \text{ kg} / 200 \text{ m}^2 = 9.3 \text{ kg}/\text{m}^2$ atau $93 \text{ ton}/\text{ha}$

Penaksiran biomasa

Penaksiran biomasa akar pohon dapat dilakukan dengan menggunakan nilai terpasang (*default value*), yaitu berdasarkan nilai nisbah tajuk dan akar.

Menaksir rasio umum perbandingan antara biomasa tajuk dan bagian akar untuk hutan tropika basah di lahan kering adalah 4:1 (Cairns *et al.* 1997, Mokany *et al.* 2006). Sedang untuk lahan basah 10:1 dan untuk pohon di tanah-tanah miskin 1:1 (Houghton *et al.* 2001, Achard *et al.* 2002, Ramankutty *et al.* 2007; van Noordwijk *et al.* 1996).

2.2.2. Pengukuran biomasa tumbuhan bawah ('understorey')

Pengambilan contoh biomasa tumbuhan bawah harus dilakukan dengan metode destruktif (mengambil bagian tanaman sebagai contoh). Tumbuhan bawah yang diambil sebagai contoh adalah semua tumbuhan hidup berupa pohon yang berdiameter < 5 cm, herba dan rumput-rumputan. Alat-alat yang dibutuhkan dapat dilihat dalam Box 8 dan Foto 6.

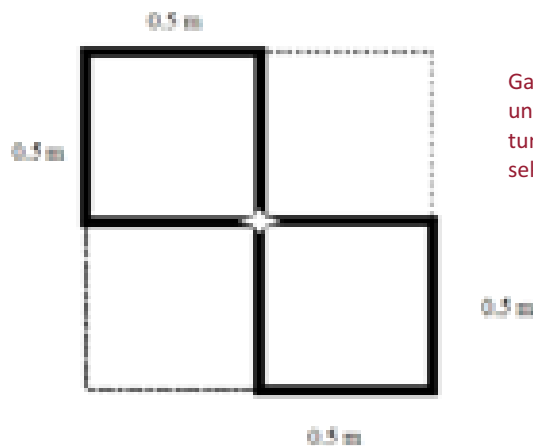


Foto 6. Alat-alat yang dibutuhkan untuk mengambil contoh tumbuhan bawah, serasah dan tanah: (1) pita pengukur, (2) bingkai kuadran sebagai sub plot untuk mengambil tumbuhan bawah dan serasah, (3) lempak baja, (4A) kuadran baja, (4B) ring baja, (5) cetok tanah

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

Box 8. Alat-alat yang dibutuhkan untuk mengambil contoh tumbuhan bawah, seresah dan tanah

- a. Kuadran terbuat dari bambu, atau dari kayu atau aluminium, berukuran 0.5 m x 0.5 m (Gambar 10)

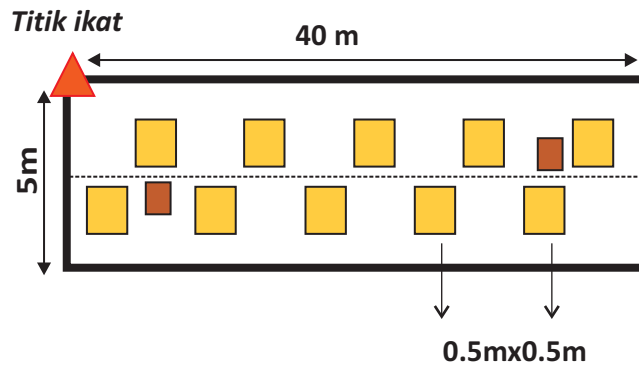


Gambar 10. Bentuk kuadran untuk pengambilan contoh tumbuhan bawah dan sekaligus seresah

- b. Pisau atau gunting rumput
c. Timbangan berkapasitas 10 kg dengan ketepatan 10 g untuk menimbang berat basah contoh dan timbangan berkapasitas 1 kg dengan ketepatan 0.1 g untuk menimbang sub-contoh.
d. Spidol permanen
e. Kantong plastik
f. Kantong kertas semen
g. Ayakan dengan ukuran lubang 2 mm
h. Nampan
i. Ember
j. Kuadran baja
k. Palu besar dan kapi

Cara mengambil contoh tumbuhan bawah ('understorey')

Tempatkan kuadran bambu, kayu atau aluminium di dalam sub plot utama (5 m x 40 m) secara acak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11.
Penempatan
kuadran (sub plot)
dalam petak contoh
(sub plot utama)

- Contoh seresah dan tumbuhan bawah
- Contoh tanah utuh, untuk penetapan BI

- a. Potong semua tumbuhan bawah (pohon berdiameter < 5 cm, herba dan rumput-rumputan) yang terdapat di dalam kuadran, pisahkan antara daun dan batang
- b. Masukkan ke dalam kantong kertas, beri label sesuai dengan kode sub plotnya
- c. Untuk memudahkan penanganan, ikat semua kantong kertas berisi tumbuhan bawah yang diambil dari satu plot.
- d. Masukkan dalam karung besar untuk mempermudah pengangkutan ke 'camp' / laboratorium.
- e. Timbang berat basah daun atau batang, catat beratnya dalam lembar pengamatan (Tabel 3)
- f. Ambil sub-contoh tanaman dari masing-masing biomasa daun dan batang sekitar 100-300g. Bila biomasa contoh yang didapatkan hanya sedikit (< 100 g), maka timbang semuanya dan jadikan sebagai sub-contoh.
- g. Keringkan sub-contoh biomasa tanaman yang telah diambil dalam oven pada suhu 80°C selama 48 jam.
- h. Timbang berat keringnya dan catat dalam lembar pengamatan Tabel 3.

Pengumpulan data

Data yang diperoleh pada pengambilan contoh biomasa tumbuhan bawah, dimasukkan ke dalam lembar pengamatan Tabel 4.

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

Tabel 4. Lembar pengukuran biomasa: pengambilan contoh tumbuhan bawah

Nama lokasi: _____
Umur kebun setelah pembukaan lahan: _____
Jenis penggunaan lahan: _____
Jenis penggunaan lahan sebelumnya: _____
Nama pengukur: _____
Tanggal/Bulan/Tahun: _____
Lokasi (GPS): _____
Ukuran Plot Contoh: 0.5 m x 0.5 m = 0.25m²

No	Berat Basah (kg)		Sub-contoh Berat Basah (g)		Sub-contoh Berat Kering (g)		Total berat kering	
	Daun	Batang	Daun	Batang	Daun	Batang	g/0.25 m ²	g/m ²
1								
2								
3								
4								
5								
....								
Total							

30

Pengolahan data

Hitung total berat kering tumbuhan bawah per kuadran dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Total BK (g)} = \frac{\text{BK subcontoh (g)}}{\text{BB subcontoh (g)}} \times \text{Total BB (g)}$$

Dimana, BK = berat kering dan BB = berat basah

Contoh perhitungan

Apabila dalam 1 kuadran berukuran 0.5 m x 0.5 m diperoleh berat basah tumbuhan bawah 500 g daun dan 500 g batang. Berat basah sub-contoh masing-masing bagian sebanyak 300 g.

Berat kering (BK) sub-contoh daun = 150 g, BK sub-contoh batang = 200 g, maka total BK (batang dan daun) adalah: $(150 \text{ g}/300 \text{ g} \times 500 \text{ g}) + (200 \text{ g}/300 \text{ g} \times 500 \text{ g}) = 583 \text{ g}/0.25 \text{ m}^2$.

Jadi total berat kering tumbuhan bawah per m^2 adalah $583 \text{ g} \times 4 = 2332 \text{ g}/\text{m}^2 = 2.3 \text{ kg}/\text{m}^2 = 23 \text{ ton}/\text{ha}$

Catatan

Apabila pengambilan contoh tumbuhan bawah dilakukan pada 6 kuadran, maka total berat kering tumbuhan bawah pada plot yang diamati adalah nilai rata-rata dari keenam kuadran tersebut, BUKAN penjumlahan dari keenamnya.

2.3. Pengukuran 'nekromasa' di permukaan tanah

Lakukan pengambilan contoh 'nekromasa' (bagian tanaman mati) pada permukaan tanah yang masuk dalam sub plot utama (5 m x 40 m) dan/atau plot (20 m x 100 m). Pengambilan contoh nekromasa yang berdiameter antara 5 cm hingga 30 cm dilakukan pada sub plot, sedangkan batang berdiameter > 30 cm dilakukan pada plot. Nekromasa dibedakan menjadi 2 kelompok:

- a. Nekromasa berkayu: pohon mati yang masih berdiri maupun yang roboh, tunggul-tunggul tanaman, cabang dan ranting utuh yang berdiameter ≥ 5 cm dan panjang ≥ 0.5 m.
- b. Nekromasa tidak berkayu: seresah daun yang masih utuh (seresah kasar), dan bahan organik lainnya yang telah terdekomposisi sebagian yang berukuran > 2 mm (seresah halus).

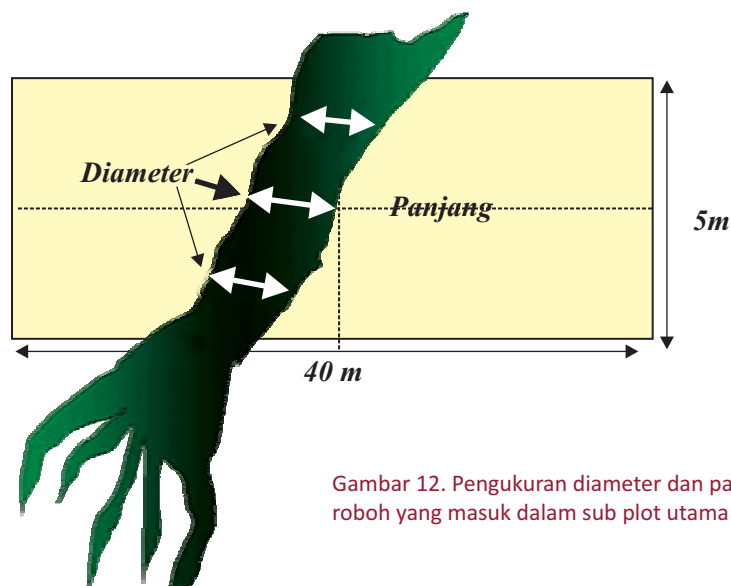
2.3.1. Nekromasa berkayu

Cara pengukuran:

- a. Ukur diameter atau lingkar batang dan panjang atau tinggi semua pohon mati yang berdiri maupun yang roboh, tunggul tanaman mati, cabang dan ranting. Pada pohon yang mati berdiri, diameter diukur pada 1.3 m di atas permukaan tanah. Pada pohon yang mati rebah cabang, ranting dan tunggul, pengukuran diameter dilakukan pada kedua ujungnya.
- b. Catat dalam lembar pengukuran Tabel 5A untuk nekromasa yang berdiameter > 30 cm dan Tabel 5B untuk nekromasa yang berdiameter antara 5 – 30 cm.

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

- c. Apabila dalam sub plot utama maupun plot terdapat batang roboh melintang (Gambar 12), maka ukurlah diameter batang pada dua posisi (pangkal dan ujung) dan panjang batang hanya diukur pada contoh yang masuk dalam sub plot utama atau plot saja.
- d. Ambil contoh kayu dari nekromasa yang diamati dengan ukuran 10 cm x 10 cm, timbang berat basahnya, masukkan dalam oven suhu 80°C selama 48 jam untuk menghitung BJ nya.
- e. Duga persentase bagian nekromasa yang belum terlapuk, sebagai contoh 100% untuk nekromasa yang masih utuh dan 50% untuk nekromasa yang setengan bagian terlapuk.



Gambar 12. Pengukuran diameter dan panjang pohon roboh yang masuk dalam sub plot utama pengamatan

Pengumpulan data

- a. Data nekromasa yang diperoleh pada pengambilan contoh dimasukkan dalam "lembar pengukuran nekromasa berkayu" (Tabel 5A dan Tabel 5B).
- b. Masukkanlah data diameter dan tinggi batang pohon mati, dalam program computer EXCELL dan lakukanlah penghitungan berat kering nekromasa pohon menggunakan persamaan allometrik yang telah dikembangkan oleh peneliti-peneliti sebelumnya.



Foto 7. Pengukuran nekromasa dalam plot, (1) pengukuran panjang pohon roboh, (2) pengukuran diameter (DBH) pohon berukuran besar (diameter > 30 cm), (3) pengukuran diameter (DBH) tunggul mati

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

Tabel 5A: Lembar pengukuran nekromasa berkayu: diameter dan panjang nekromasa besar (diameter > 30 cm)

Nama lokasi: _____
Umur kebun setelah pembukaan lahan: _____
Jenis penggunaan lahan: _____
Jenis penggunaan lahan sebelumnya: _____
Nama pengukur: _____
Tanggal/Bulan/Tahun: _____
Lokasi (GPS): _____
Ukuran plot contoh: 20 m x 100 m = 2000 m²

No	L1 (cm)	L2 (cm)	L rata-rata (cm)	T (m)	Persentasi pelapukan	Catatan
1						
2						
3						
...						
...						
Total						

Keterangan: L = lingkar/lilit batang, cm; T = tinggi/panjang, m

34

Tabel 5B: Lembar pengukuran nekromasa berkayu: diameter dan panjang nekromasa sedang (diameter 5 - 30 cm)

Nama lokasi: _____
Umur kebun setelah pembukaan lahan: _____
Jenis penggunaan lahan: _____
Jenis penggunaan lahan sebelumnya: _____
Nama pengukur: _____
Tanggal/Bulan/Tahun: _____
Lokasi (GPS): _____
Ukuran plot contoh: 40 m x 5 m = 200 m²

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

No	L1 (cm)	L2 (cm)	L rata-rata (cm)	T (m)	Persentasi pelapukan	Catatan
1						
2						
3						
...						
...						
Total						

Keterangan: L = lingkaran/lilit batang, cm; T = tinggi/panjang, m

Pengolahan data

Hitung D (diameter nekromasa) dengan cara:

$$D = \frac{L \text{ rata-rata}}{\pi}$$

Hitunglah berat nekromasa berkayu yang bercabang dengan menggunakan rumus allometrik seperti pohon hidup (lihat Tabel 2), sedangkan untuk pohon yang tidak bercabang dihitung berdasarkan volume silinder sebagai berikut:

$$BK \text{ (kg/nekromas)} = \pi \pi H D^2 / 40 \times \% \text{ pelapukan}$$

Dimana,

H = panjang/tinggi nekromasa (m), D = diameter nekromasa (cm), ρ = BJ kayu (g/cm^3). Biasanya BJ kayu mati sekitar 0.4 g/cm^3 , namun dapat juga ρ bervariasi tergantung pada kondisi pelapukannya. Semakin lanjut tingkat pelapukan kayu, maka BJ-nya semakin rendah.

Lakukanlah pengolahan data nekromasa berkayu sama caranya dengan pengolahan biomasa pohon, yaitu bedakan antara jenis nekromasa yang berdiameter > 30 cm dan nekromasa yang berdiameter antara 5-30 cm, karena luas plot pengumpulan datanya berbeda.

2.3.2. Nekromasa tidak berkayu

Nekromasa tidak berkayu terdiri dari seresah kasar dan halus.

Cara mengambil contoh seresah kasar

- a. Gunakan kuadran kayu/bambu/aluminium seperti dalam Gambar 8. Ambillah contoh seresah kasar langsung setelah pengambilan contoh biomasa tumbuhan bawah, lakukan pada sub plot dan luas kuadran yang sama dengan yang dipakai untuk pengambilan contoh biomasa tumbuhan bawah.

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

- b. Ambil semua sisa-sisa bagian tanaman mati, daun-daun dan ranting-ranting gugur yang terdapat dalam tiap-tiap kuadran, masukkan ke dalam kantong kertas dan beri label sesuai dengan kode sub plotnya.
- c. Untuk memudahkan penanganan, ikat semua kantong kertas berisi seresah yang diambil dari satu plot. Masukkan dalam karung besar untuk mempermudah pengangkutan ke 'camp'/laboratorium.
- d. Keringkan semua seresah di bawah sinar matahari, bila sudah kering, goyang-goyangkan agar tanah yang menempel dalam seresah rontok dan terpisah dengan seresah. Timbang contoh seresah kering matahari (g per 0.25 cm²).
- e. Ambil sub-contoh seresah sebanyak 100-300 g untuk dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 48 jam. Bila biomasa contoh yang didapatkan hanya sedikit (< 100 g), maka timbang semuanya dan jadikan sebagai sub-contoh
- f. Timbang berat keringnya dan catat dalam lembar pengamatan yang telah disediakan (Tabel 6). Estimasi BK seresah kasar per kuadran melalui perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Total BK (g)} = \frac{\text{BK subcontoh (g)}}{\text{BB subcontoh (g)}} \times \text{Total BB (g)}$$

Dimana, BK = berat kering dan BB = berat basah

36

Catatan:

Seperti halnya pada contoh tumbuhan bawah, total berat kering seresah dalam plot pengamatan merupakan nilai rata-rata dari total berat kering semua kuadran contoh.

Cara mengambil contoh seresah halus dan akar halus

- a. Ambil semua seresah halus yang terletak di permukaan tanah yang terdapat di dalam kuadran (Foto 8), biasanya setebal 5 cm, tetapi ketebalan ini bervariasi tergantung pada pengelolaan lahannya. Hentikan pengambilan seresah halus bila telah sampai pada tanah mineral. Batas antara tanah mineral dan lapisan seresah ditandai oleh perbedaan warna. Tanah mineral berwarna lebih terang.
- b. Masukkan semua seresah halus yang terdapat pada kuadran ke dalam ayakan dengan lubang pori 2 mm, ayaklah. Ambil seresah halus dan akar yang tertinggal di atas ayakan (Foto 9), timbang berat basahnya (BB per



Foto 8. Pengukuran nekromasa tidak berkayu, (1) seresah di permukaan tanah, (2) pengambilan contoh tanah terganggu di lapisan atas, (3) penimbangan berat basah langsung di lapangan

kuadran). Ambil 100 g sub-contoh seresah halus, keringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 48 jam. Bila biomasa contoh yang didapatkan hanya sedikit (< 100 g), maka timbang semuanya dan jadikan sebagai sub-contoh.

- c. Timbang berat keringnya dan catat dalam lembar pengamatan yang disediakan. Estimasi BK seresah halus per kuadran melalui perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Total BK (g)} = \frac{\text{BK subcontoh (g)}}{\text{BB subcontoh (g)}} \times \text{Total BB (g)}$$

Dimana, BK = berat kering dan BB = berat basah

- d. Masukkan seresah halus ke dalam kantong plastik dan beri label untuk keperluan analisa kandungan karbon (C-organik).
- e. Seresah halus yang lolos ayakan dikelompokkan sebagai contoh tanah, ambil 50 gram untuk analisa kandungan karbon (C-organik) atau unsur hara lainnya sesuai keperluan.

PENGUKURAN CADANGAN KARBON



Foto 9. Akar-akar halus yang terdapat di tanah lapisan atas (1) dan pemisahan tanah dan akar melalui pengayakan (2)

Tabel 6: Lembar pengukuran nekromasa: contoh seresah halus dan akar

Nama lokasi: _____
 Umur kebun setelah pembukaan lahan: _____
 Jenis penggunaan lahan: _____
 Jenis penggunaan lahan sebelumnya: _____
 Nama pengukur: _____
 Tanggal/Bulan/Tahun: _____
 Lokasi (GPS): _____
 Ukuran plot contoh: _____

No.	Total Berat Basah (kg)	Sub-contoh Berat Basah (g)	Sub-contoh Berat Kering (g)	Total berat kering seresah halus	
				kg/0.25 m ²	kg/m
1					
2					
3					
4					
5					
6					

2.4. Pengukuran bahan organik tanah

Karakterisasi tanah dari setiap lahan yang dipilih sebagai plot contoh dilakukan dengan jalan mengambil contoh tanah. Beberapa pengukuran yang dibutuhkan adalah berat isi (BI) tanah, tekstur persentase 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 minimal yaitu pH tanah (ekstraksi H₂O dan KCl) , C organik, N total, kandungan pasir, liat, debu (metode pipet).
2. Contoh tanah utuh (tidak terganggu), untuk pengukuran berat isi (BI) tanah atau disebut pula Bobot Isi atau Berat Volume

Alat-alat yang dibutuhkan dalam pengambilan contoh tanah dapat dilihat pada Foto 10 dan Box 9.

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

Box 9. Alat-alat yang dibutuhkan untuk mengambil contoh tanah

1. Cangkul
2. Lempak
3. Box besi ukuran 20 cm x 20 cm x 10 cm
4. Palu karet
5. Pisau tanah
6. Kapi atau '*scrap*' (*raper paint*)
7. Sepotong kayu ukuran 25 cm x 10 cm x 10 cm
8. Ember plastik atau kantong plastik ukuran 30 kg
9. Kantong plastik ukuran 5 kg
10. Spidol permanen
11. Karet gelang
12. Timbangan kapasitas 5 kg

2.4.1. Pengambilan contoh tanah terganggu

Cara:

1. Ambil contoh tanah menggunakan cangkul pada sub plot yang sama dengan pengambilan tumbuhan bawah dan seresah (lihat Gambar 11). Dalam 1 plot diambil contoh dari 3 titik yang sama dengan pengambilan seresah pada sub-plot utama ukuran 200 m² (lihat Gambar 2). Contoh tanah diambil dari 3 kedalaman: 0-10 cm, 10-20 cm dan 20-30 cm.
2. Masukkan contoh tanah per kedalaman dari 3 titik contoh pengambilan ke dalam ember plastik dan campur rata. Ambil contoh tanah campuran tersebut sekitar 1 kg, masukkan ke dalam kantong plastik. Beri label dan ikat dengan karet gelang, siap untuk diangkut ke '*camp*'/ laboratorium.
3. Sesampai di camp, 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. Satu kantong tanah untuk analisis di laboratorium dan 1 kantong lagi untuk arsip. Buang tanah yang tertinggal dalam ayakan
4. Contoh tanah dalam kantong plastik siap dikirim ke laboratorium untuk dianalisa.

2.4.2. Pengambilan contoh tanah "utuh"

Perhatikan baik-baik langkah-langkah pengambilan contoh tanah utuh yang disajikan pada Foto 10, agar contoh tanah yang diambil dapat mewakili kondisi sebenarnya di lapangan.

Cara

- a. Tentukan titik pengambilan contoh sesuai dengan titik pengambilan contoh seresah
- b. Contoh tanah diambil pada sub plot yang berdekatan dengan 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. Siapkan 2 buah box besi dan peralatan lainnya
- d. Singkirkan seresah-seresah kasar yang ada di atas permukaan tanah, tancapkan box besi ke permukaan tanah, tekan perlahan-lahan. Letakkan box besi yang lain di atas box besi pertama dan pukul pelan-pelan menggunakan tongkat kayu hingga box pertama masuk ke dalam tanah sesuai kedalaman yang diinginkan
- e. Jika mengalami kesulitan saat membenamkan box besi (misalnya ada akar pohon berukuran besar atau batu), ulangi sekali lagi dengan jalan memindahkan pada tanah di sampingnya hingga berhasil
- f. Gali tanah menggunakan lempak sekitar 5 cm jaraknya dari box besi, lanjutkan dengan memukul box besi pelan-pelan menggunakan palu karet hingga box besi masuk secara sempurna ke dalam tanah. Tutuplah bagian atas box tanah tersebut dengan plastik dan ikatlah dengan karet gelang.
- g. Potong tanah di bawah box menggunakan lempak atau pisau tanah, setelah tanah terpotong angkatlah perlahan-lahan agar tanah tetap berada utuh di dalam box.
- h. Balikkan box tanah dan rebahkan perlahan-lahan di atas permukaan tanah yang datar
- i. Buang tanah yang ada di permukaan luar box besi menggunakan 'scarp' hingga bersih. Ratakan tanah pada bagian atas dan bawah box menggunakan scrap atau pisau tanah.
- j. Keluarkan semua tanah yang ada dalam box besi, tampunglah dalam kantong plastik dan timbang berat basahnya. Berat basah tanah tersebut (W1) pada volume 4000 cm³. Catat beratnya dalam lembar pengamatan yang disediakan (Tabel 7).

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

- k. Lanjutkan pengambilan contoh tanah pada kedalaman 10-20 cm dan 20-30 cm dengan cara yang sama (langkah a sampai dengan j).
- l. Ambil sub-contoh tanah dan timbang sebanyak 50 g (W₂). Keringkan sub-contoh tanah tersebut dalam oven pada suhu 105°C selama 48 jam, dan timbang berat keringnya (W₃)
- m. Catat semua data yang diperoleh dalam lembar pengamatan (Tabel 7).

Tabel 7: Lembar pengukuran berat isi tanah

Nama lokasi: _____
 Umur kebun setelah pembukaan lahan: _____
 Jenis penggunaan lahan: _____
 Jenis penggunaan lahan sebelumnya: _____
 Nama pengukur: _____
 Tanggal/Bulan/Tahun: _____
 Lokasi/plot contoh (GPS): _____

No	Kedalaman tanah, cm	(W ₁) g	(W ₂) g	(W ₃) g	V (cm ³)	BKO tanah/g/4000 cm ³ (W)	BI, g/cm ⁻³
Keterangan: W ₁ = berat basah total tanah, g; W ₂ = berat basah sub contoh tanah, g; W ₃ = berat kering sub contoh tanah, g; V = volume tanah, cm ³ ; W = total berat kering contoh tanah, g							

Perhitungan

Volume tanah dalam box besi (V) = 20 cm x 20 cm x 10 cm = 4000 cm³
 Berat kering tanah dalam box besi (W) = (W₁/W₂) x W₃, g/4000 cm³
 Berat Isi Tanah (BI) = W/V, g cm⁻³



Foto 10. Pengambilan contoh tanah utuh, (1) pembenaman box besi ke dalam tanah, (2) pemotongan tanah di sekitar box dan pengangkatan ke luar lubang, (3 dan 4) memotong kelebihan tanah pada box hingga rata dengan permukaan box, (5) memasukkan contoh tanah ke dalam kantong plastik dan pemberian label contoh tanah yang diambil

Contoh perhitungan kandungan karbon pada tanah seluas 1 ha

Hitunglah cadangan karbon pada lapisan tanah 0-30 cm (ton/ha). Bila diketahui BI masing-masing lapisan tanah 0-10 cm, 10-20 cm dan 20 - 30 cm adalah 0.9 g/cm^3 , 1.1 g/cm^3 dan 1.2 g/cm^3 dengan kadar karbon adalah 3%, 2% dan 2 %.

Jawaban:

Langkah 1. Hitung berat tanah per ha

- Lapisan 0-10 cm = $100 \text{ m} \times 100 \text{ m} \times 0.10 \text{ m} \times 0.9 \text{ ton/m}^3 = 900 \text{ ton}$
- Lapisan 10-20 cm = $100 \text{ m} \times 100 \text{ m} \times 0.10 \text{ m} \times 1.1 \text{ ton/m}^3 = 1100 \text{ ton}$
- Lapisan 20-30 cm = $100 \text{ m} \times 100 \text{ m} \times 0.10 \text{ m} \times 1.2 \text{ ton/m}^3 = 1200 \text{ ton}$

Langkah 2. Hitung kandungan C –organik per ton tanah adalah

- Lapisan 0-10 cm, C –organik = 3% artinya setiap 100 g tanah terdapat 3 g C. Jadi $3\% \text{ C} = 30 \text{ g C/kg tanah} = 0.03 \text{ ton C/ton tanah}$
- Lapisan 10-20 cm, C –organik = 2% = $20 \text{ g C/kg tanah} = 0.02 \text{ ton C/ton tanah}$

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

- Lapisan 20-30 cm, C-organik = 2% = 20 g C/kg tanah = 0.02 ton C/ton tanah

Langkah 3. Hitung kandungan karbon (C) untuk 1 ha tanah

Kandungan C per lapisan 0-10 cm per ha = berat tanah pada lapisan 0-10 cm x berat C. Jadi kandungan C per lapisan adalah sebagai berikut:

- Lapisan 0-10 cm = 900 ton x 0.03 C/ton¹ = 27 ton C
- Lapisan 10-20 cm = 1100 ton x 0.02 C/ton¹ = 22 ton C
- Lapisan 20-30 cm = 1200 ton x 0.02 C/ton¹ = 24 ton C

Jadi kandungan C pada lapisan tanah 0-30 cm seluas 1 ha = (27 + 22 + 24) ton = 73 ton.



Pengukuran kadar air tanah. Tak ada oven - penggorenganpun jadi! (Foto: Kurniatun Hairiah)



Pemilihan rumus allometrik yang sesuai dapat mengurangi bias penaksiran biomasa pohon.
(Foto: Kurniatun Hairiah)

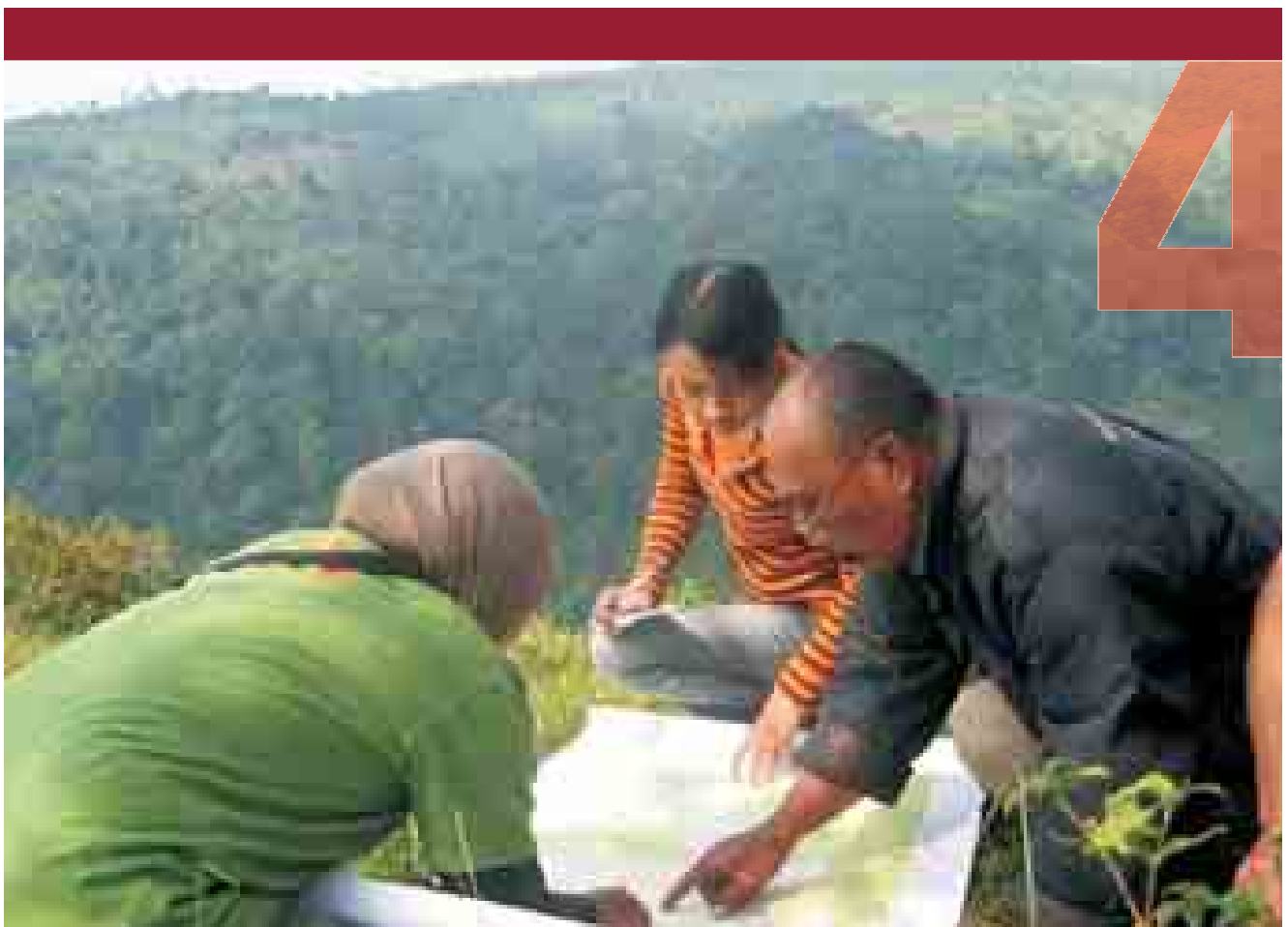
3. Penghitungan cadangan karbon di tingkat lahan

Semua data (TOTAL) biomasa (Tabel 1A, 1B, 4) dan nekromasa (Tabel 5A, 5B, 6) serta bahan organik tanah (Tabel 7) per lahan dimasukkan ke dalam Tabel 8 yang merupakan hasil taksiran akhir cadangan karbon per lahan. Kadar C dalam bahan organik digunakan nilai kadar terpasang (default value) yaitu 46%, maka estimasi cadangan karbon per komponen dapat dihitung dengan mengalikan berat masa masing-masing komponen dengan kadar C, sebagai berikut:

$$\text{Kadar C} = \text{Berat kering biomasa atau nekromasa (ton/ha)} \times 0.46$$



(Foto: Efrlan Muharrom)



Pengenalan perubahan penggunaan lahan oleh masyarakat pinggir hutan.
(Foto: Kurniatun Hairiah)

4. Penghitungan dinamika karbon di tingkat bentang lahan

Ekstrapolasi cadangan karbon dari tingkat lahan ke tingkat bentang lahan, misalnya tingkat Daerah Aliran Sungai (DAS) dapat dilakukan dengan jalan mengalikan data aktivitas dengan faktor emisi (Gambar 13). Data aktivitas merupakan data perubahan luasan setiap tipe penggunaan lahan pada sebuah bentang lahan yang dihitung berdasarkan hasil interpretasi citra satelit pada beberapa titik waktu yang berbeda, misalnya tahun 1990, 2000 dan 2010. Data aktivitas umumnya dinyatakan dalam satuan hektar.

Faktor emisi karbon diperoleh dari perhitungan selisih rata-rata cadangan karbon per siklus tanam dari setiap tipe penggunaan lahan. Untuk lebih jelasnya, hal ini akan diuraikan di bab 4.1.



Gambar 13. Skema perhitungan dinamika cadangan karbon di tingkat bentang lahan yang merupakan hasil perkalian antara data aktivitas dengan faktor emisi



4.1. FAKTOR EMISI: Rata-rata karbon per siklus tanam

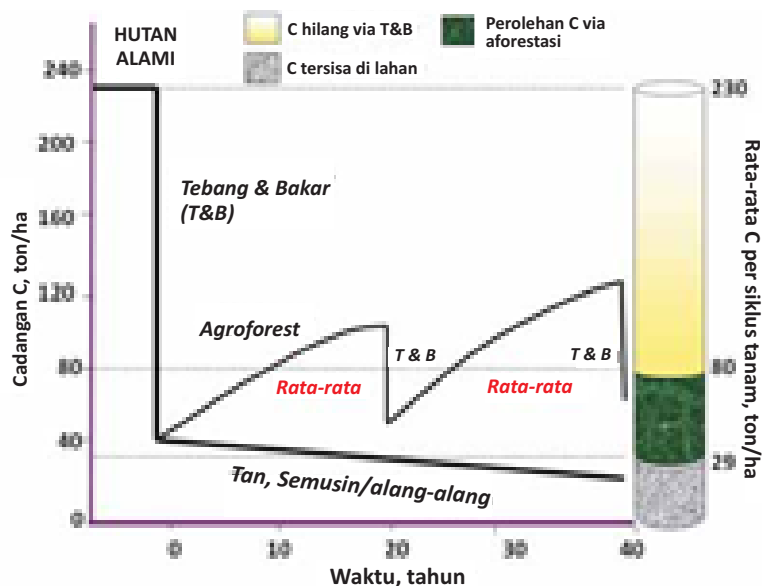
Ekstrapolasi cadangan karbon pada sistem penggunaan lahan agroforestri ke tingkat bentang lahan tidak dapat langsung dilakukan seperti yang dilakukan pada lahan hutan. Untuk sistem agroforestri dan sistem penggunaan lahan pertanian lainnya masih diperlukan satu tahap analisa lagi yaitu pengukuran karbon rata-rata per-siklus tanam (*time averaged-Carbon stock*).

Beragam tipe agroforestri dapat ditemui di lapangan, keragaman tersebut dapat ditinjau dari segi jenis dan umur pohon yang ditanam. Penanaman pohon-pohonan dalam agroforestri tidak serentak pada waktu yang bersamaan seperti yang dilakukan pada sistem monokultur (perkebunan). Demikian juga dengan penebangannya, biasanya petani hanya melakukan bila pohon dianggap sudah tidak produktif lagi.

Dalam perhitungan dinamika cadangan karbon dibutuhkan satu nilai 'typical' cadangan karbon yang merupakan nilai rata-rata karbon per siklus tanam untuk setiap sistem penggunaan lahan. Data tersebut digunakan sebagai dasar perhitungan perubahan cadangan karbon sebagai akibat dari adanya alih guna lahan (Gambar 14).

Gambar 14. Perubahan cadangan karbon setelah alih guna hutan menjadi lahan pertanian.

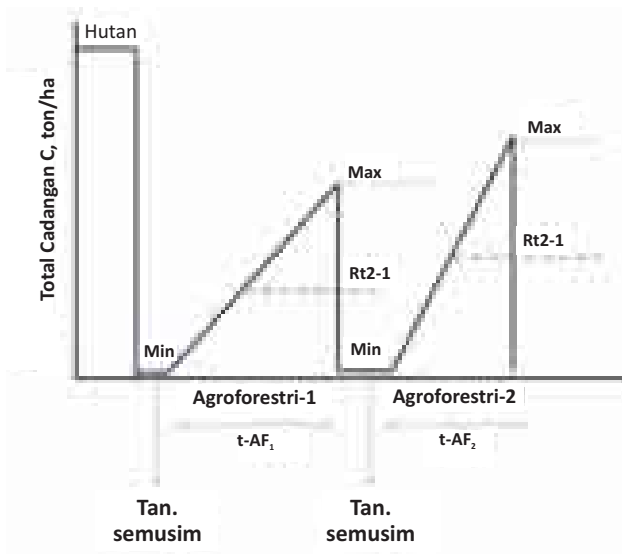
Keterangan:
 garis penuh = karbon biomasa + tanah;
 garis putus = rata-rata karbon per siklus tanam (IPCC/LULUCF-section 4, 2000)



Jadi yang digunakan dalam perhitungan BUKAN cadangan karbon yang ada saat ini (*standing C stock*). Nilai tersebut harus mewakili secara temporal rata-rata cadangan karbon per sistem penggunaan lahan, dan juga bisa mewakili dalam satu siklus tanam. Data tersebut akan lebih bisa menggambarkan dinamika perubahan cadangan karbon yang diperoleh/disimpan dan cadangan karbon yang hilang dari suatu sistem penggunaan lahan.

4.1.1. Perhitungan rata-rata cadangan karbon per siklus tanam pada sistem agroforestri

Untuk estimasi cadangan karbon di tingkat lahan, diperlukan informasi sejarah penggunaan lahan, mulai dari saat awal konversi hutan menjadi lahan pertanian, masa bera dan kondisi lahan saat ini. Informasi tersebut dibutuhkan untuk mengestimasi peningkatan cadangan karbon per unit waktu. Secara sederhana dapat dijelaskan secara skematis dalam Gambar 15.



Gambar 15. Diagram kehilangan cadangan karbon setelah alih guna hutan (C_{min}) menjadi lahan tanaman semusim (ada 2 fase), diikuti oleh fase penimbunan kembali karbon selama fase agroforestri hingga pertumbuhan maksimum (C_{max}), (modifikasi dari Palm *et al.* 1999)

Cara mengukur

1. Cari dan ukurlah cadangan karbon pada plot agroforestri umur tertua (C_{max}). Ukurlah cadangan karbon di tanaman semusim (C_{min}). Hitung rata-rata cadangan karbon per siklus tanam agroforestri:

$$C_{rata-rata} = (C_{min} + C_{max})/2$$

2. Bila di lapangan tidak ada agroforestri tertua, maka carilah berbagai macam umur lahan (setelah alih guna hutan) minimal 3 klas umur, pengukuran masing-masing klas diulang minimal 3x.

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

3. Tentukan cadangan karbon nya sesuai dengan prosedur RaCSA
4. Hitung peningkatan cadangan karbon pertahunnya (I_c , ton/ha/th), misalnya 1.0 ton/ha/th
5. Carilah informasi dari petani, pada umur berapa biasanya pohon dipanen (khusus untuk kayu) atau pohon ditebang karena tidak produktif lagi. Dengan demikian dapat diperkirakan umur tengahnya. Contoh kebun kopi, biasanya ditebang umur 30 tahun karena produksinya tidak menguntungkan lagi, maka umur tengahnya adalah 15 tahun.
6. Hitung rata-rata cadangan karbon per siklus tanam dengan jalan mengalikan: umur tengah dengan nilai peningkatan cadangan karbon per tahun = 15 tahun x 1 ton/ha/tahun = 15 ton/ha

4.1.2. Penghitungan rata-rata cadangan karbon per siklus tanam pada sistem perkebunan

Informasi sejarah penggunaan lahan, mulai dari saat awal konversi hutan menjadi lahan perkebunan, penggunaan lahan sebelum menjadi perkebunan dan kondisi lahan saat ini. Informasi ini sangat dibutuhkan untuk mengestimasi peningkatan cadangan karbon per unit waktu.

Cara mengukur

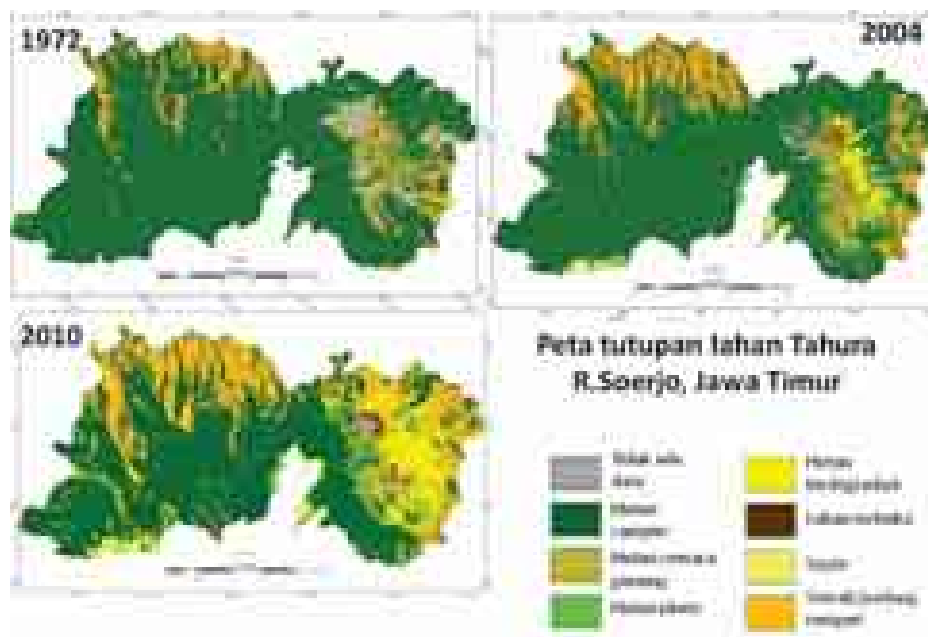
1. Ukurlah cadangan karbon pada plot perkebunan dengan variasi umur yang beragam yang dapat mewakili kategori umur perkebunan tua, umur pertengahan dan umur perkebunan muda. Semakin banyak variasi umur yang diukur maka penaksiran akan semakin baik.
2. Bila di lapangan tidak terlalu banyak variasi umur, maka carilah berbagai macam umur lahan (setelah pembukaan hutan) minimal 3 kelas umur.
3. Tentukan cadangan karbon per lahan sesuai dengan prosedur RaCSA.
4. Carilah informasi dari petani, pada umur berapa biasanya pohon ditebang untuk dipanen. Dengan demikian dapat diperkirakan umur tengahnya, misalnya perkebunan pinus ditebang pada umur 40 tahun sehingga memiliki umur tengah 20 tahun.
5. Hitung peningkatan cadangan karbon pertahunnya (I_c , ton/ha/th), misalnya 1.0 ton/ha/th
6. Hitung rata-rata cadangan C per siklus tanam dengan jalan mengalikan: umur tengah dengan nilai peningkatan cadangan C per tahun = 20 tahun x 1 ton/ha/th = 20 ton/ha



4.2. DATA AKTIVITAS

Adanya perubahan tutupan lahan di suatu wilayah dapat mengindikasikan dinamika cadangan karbon di wilayah tersebut. Misalnya, aktivitas konversi hutan menjadi bentuk penggunaan lahan lainnya menyebabkan terjadinya penurunan jumlah cadangan karbon. Kuantifikasi perubahan

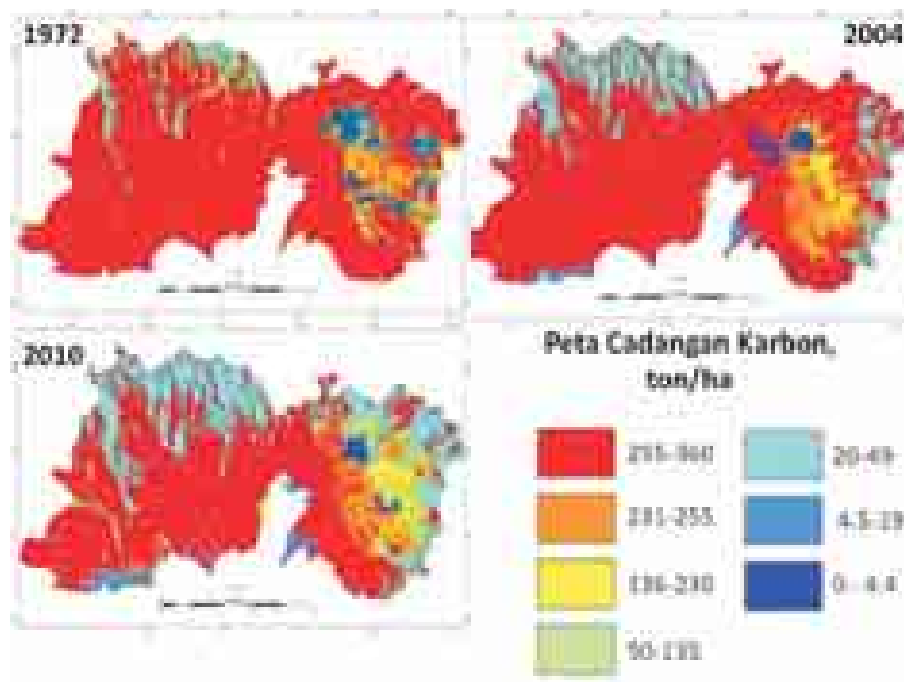
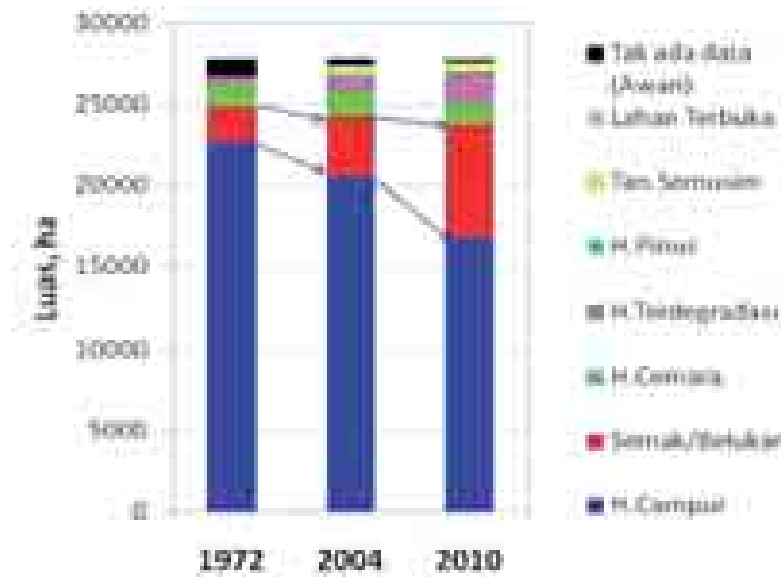
lahan yang terjadi dalam satu rentang waktu, dapat dilakukan dengan menganalisa citra satelit (misalnya Landsat) dari waktu pengambilan yang berbeda, yang didukung oleh peta tutupan lahan, topografi, tanah dan sebagainya. Contoh berikut adalah analisis perubahan tutupan lahan di Tahura R. Soerjo Jawa Timur, berdasarkan citra tahun 1972, 2004 dan 2010 (Gambar 16 dan 17). Hasil penghitungan rata-rata cadangan karbon yang telah diperoleh dapat diintegrasikan ke dalam peta tutupan lahan, sehingga diperoleh peta distribusi cadangan karbon (Gambar 18).



Gambar 16. Citra lansat terklasifikasi Tahura R. Soerjo tahun 1972, 2004 dan 2010

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

Gambar 17. Perubahan luasan tutupan lahan hutan di kawasan Tahura R. Soerjo, Jawa Timur



Gambar 18. Peta kerapatan cadangan karbon di kawasan Tahura R. Soerjo, Jawa Timur



4.3. Analisa perubahan cadangan karbon di tingkat bentang lahan

Berdasarkan analisa perubahan penggunaan lahan, dapat dibuat matriks transisi perubahan lahan. Data tersebut berupa sebuah matriks yang berukuran $n \times n$, dimana n adalah jumlah jenis penggunaan lahan/tutupan lahan. Setiap angka di dalam matriks menunjukkan luasan perubahan penggunaan lahan dalam satuan hektar. Sebagai contoh lihat Tabel 9 yang merupakan matriks transisi perubahan tutupan lahan di Tahura R. Soerjo

Tabel 9. Contoh matriks transisi perubahan tutupan lahan tahun 1972 dan 2004

Penutupan lahan tahun 1972 (ha)	Penutupan lahan tahun 2004 (ha)								Total 1972
	Hutan Campur	Tanaman Semusim	Hutan Cemara Gunung	Hutan Pinus	Hutan Terganggu	Lahan Terbuka	Semak/Belukar	No data (Awan)	
H. Campur	18,506	437	719	85	308	27	2,295	304	22,680
Tan. Semusim	8	2	0	1	0	0	2	0	13
H. Cemara Gunung	538	4	463	0	352	32	77	11	1,476
H. Pinus	0	0	0	0	0	0	0	0	-
H. Terganggu	209	6	18	0	15	6	201	3	457
Lahan Terbuka	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Semak/Belukar	904	39	90	2	85	33	1,022	4	2,178
No data (Awan)	423	0	257	0	141	109	87	21	1,038
Total tahun 2004	20,588	488	1,547	88	900	206	3,683	343	27,842

Keterangan: H = hutan

Langkah berikutnya adalah menyusun matriks emisi/ sequestrasi karbon dengan jalan mengalikan data rata-rata perubahan cadangan karbon masing-masing tipe penggunaan lahan dengan data perubahan luasan penggunaan lahan lahan. Emisi terjadi apabila terdapat aktivitas perubahan penggunaan lahan yang mengakibatkan berkurangnya cadangan karbon. Sebaliknya, sequestrasi/penyerapan terjadi jika perubahan penggunaan lahan menyebabkan bertambahnya cadangan karbon. Hasil dari perhitungan dapat dilihat pada Tabel 10.

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

Tabel 10. Contoh hasil akhir perhitungan faktor emisi (ton/ha) berdasarkan data perubahan tutupan lahan tahun 1972, 2004 dan 2010)

Tutupan Lahan	Rata-rata Cadangan Karbon (ton/ha)	Tutupan lahan tahun 2010 (ton/ha)							Total
		Hutan Campur	Tanaman Semusim	Hutan Cemara Gunung	Hutan Pinus	Hutan Terganggu	Lahan terbuka	Semak/Belukar	
Hutan Campur	256	0	77340.15	17966.25	9515.52	29241	6796.8	541513.8	682373.5
Tanaman Semusim	79	-1369.98	0	-13.68	-58.5	-7.38	0	106.2	-1343.34
H. Cemara Gunung	231	-13455	629.28	0	0	24614.1	7442.82	16198.47	35429.67
HTP Pinus	144	0	0	0	0	0	0	0	0
Hutan terganggu	161	-19827.5	487.08	-1278.9	0	0	927.36	28298.7	8606.79
Lahan terbuka	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Semak belukar	20	-213292	-2293.92	-19085	-234.36	-11966.7	657	0	-246215
Total emisi									478851.7
Total emisi (ton/tahun/ha)									0.537465

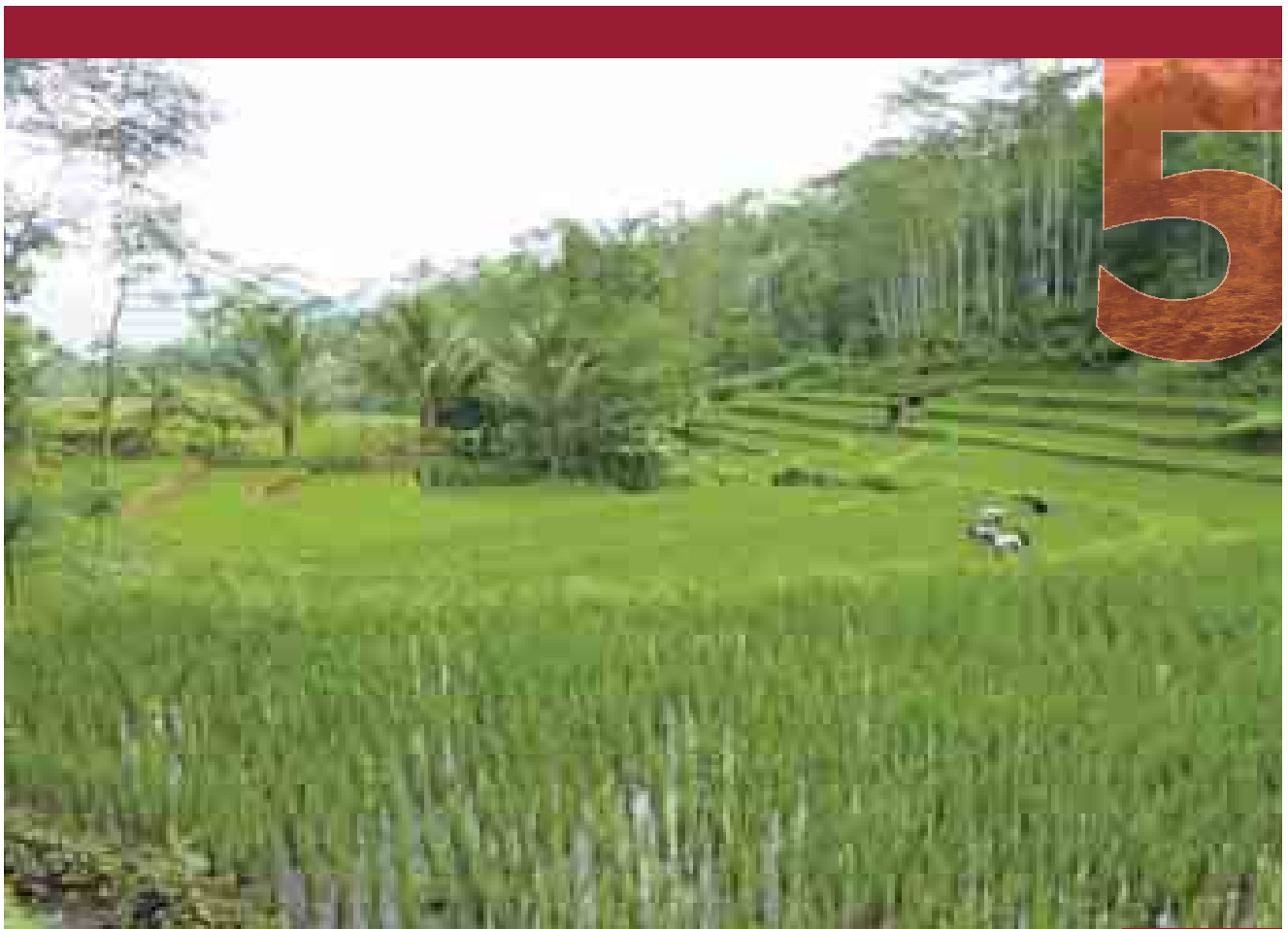
Keterangan: Tanda (-) = emisi negatif atau terjadi sequestrasi (penyerapan Co₂)

Sebagai ringkasan dari hasil perhitungan secara menyeluruh di Tahura R. Soerjo disajikan dalam Tabel 11.

58

Tabel 11. Faktor emisi di Tahura R. Soerjo, Jawa Timur

Luas, ha	27842
Emisi, M ton	0.73
Sequestrasi, M ton	0.25 -
Net emisi, M ton	0.47
Tingkat emisi, ton/ha	17.20
Faktor emisi, ton C/ha/th	0.54
Faktor emisi, ton CO ₂ /ha/th*	1.98
* Keterangan: Untuk mengkonversi emisi C ke CO ₂ , maka faktor emisi C x 3.67 Mton = 10 ⁶ ton	



Berbagai macam penggunaan lahan, dari monokultur hingga agroforestri multistrata dan hutan alami di Kec. Ngantang, Kab. Malang. (Foto: Kurniatun Hairiah)

5. CONTOH STUDI KASUS

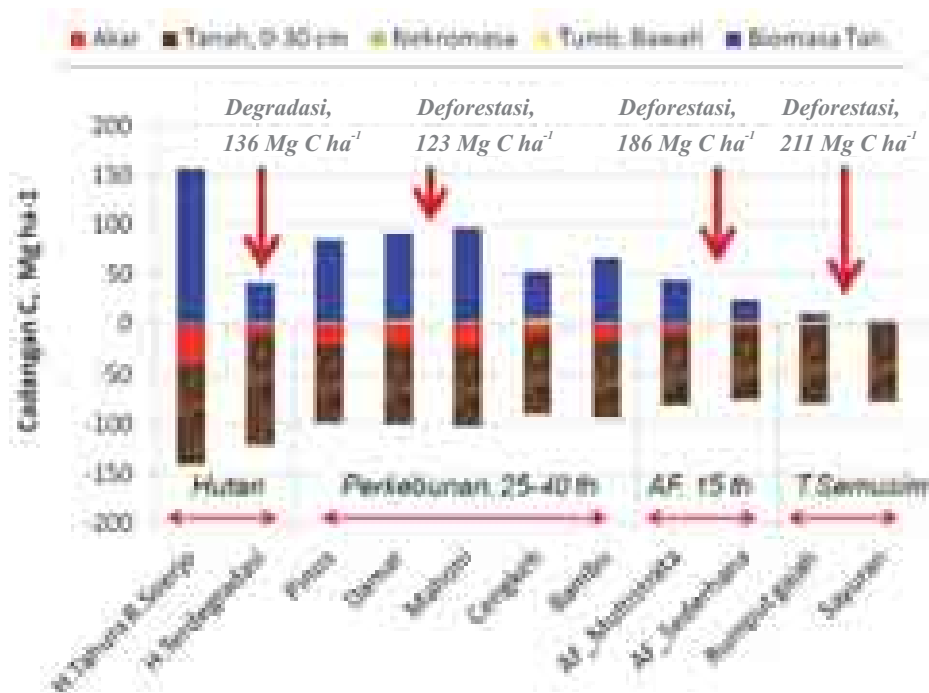
Estimasi perubahan cadangan karbon pada berbagai sistem penggunaan lahan di DAS Kali Konto, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang

5.1. Pengukuran cadangan karbon di tingkat lahan

Guna memperoleh gambaran lengkap seluruh pengukuran, berikut adalah contoh hasil pengukuran cadangan karbon di berbagai sistem penggunaan lahan di sub-DAS Kali Konto, Malang, Jawa Timur. Pengukuran cadangan karbon dilakukan di empat macam tutupan lahan: (1) hutan (alami) sekunder, (2) perkebunan tanaman kayu (pinus, damar, mahoni, cengkeh, dan bambu), (3) agroforestri (multistrata dan sederhana), (4) lahan tanaman semusim yaitu lahan yang ditanami rumput gajah, dan lahan yang ditanami sayuran. Hasilnya dibandingkan dengan cadangan karbon di kawasan hutan konservasi Tahura R. Soerjo (Hairiah *et al.*, 2010).

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kondisi hutan alami di sub-DAS Kali Konto hulu (di Kecamatan Ngantang) sudah sangat terdegradasi, dengan total cadangan karbon hanya sekitar 161 ton/ha, dimana sekitar 40-70% cadangan karbon adalah berasal dari tanah (sebagian besar termasuk jenis tanah andisol dan inceptisol) (Anonymous, 1985). Besarnya cadangan karbon di hutan Ngantang 50% lebih rendah dari pada cadangan karbon di Tahura R. Soerjo, Kabupaten Malang (rata-rata 297 ton/ha). Bila kondisi hutan di Ngantang dulunya sama dengan kondisi hutan di Tahura R. Soerjo saat ini, berarti hutan di Ngantang telah mengalami **degradasi** dengan kehilangan karbon sekitar 131 ton/ha (Gambar 19). Alih guna lahan hutan menjadi perkebunan (umur 25 - 40 tahun) yang biasanya disebut dengan **deforestasi**, menyebabkan kehilangan cadangan karbon sekitar 123 ton/ha, dan kehilangan meningkat hingga 186 ton/ha dan 211 ton/ha bila hutan dialih-gunakan masing-masing menjadi agroforestri kopi (umur 10-15 tahun) dan lahan tanaman semusim. Sedangkan kehilangan cadangan karbon di dalam tanah terjadi dalam jumlah yang relatif kecil.

PENGUKURAN CADANGAN KARBON



Gambar 19. Cadangan karbon pada berbagai system penggunaan lahan di kawasan Tahura R. Soerjo dan DAS Kali Konto (Sumber: Hairiah *et al.* 2010)

62

Total cadangan karbon dari biomasa (tajuk+akar) dan nekromasa di hutan terdegradasi sama dengan yang dijumpai di agroforestri multistrata yaitu sekitar 52 ton/ha (Tabel 9). Sedang cadangan karbon di perkebunan pinus, mahoni, dan damar (berumur antara 25-40 tahun) berkisar antara 159 hingga 198 ton C/ha, dengan total cadangan karbon di biomasa (tajuk+akar) dan nekromasa sekitar 98 ton C/ha.

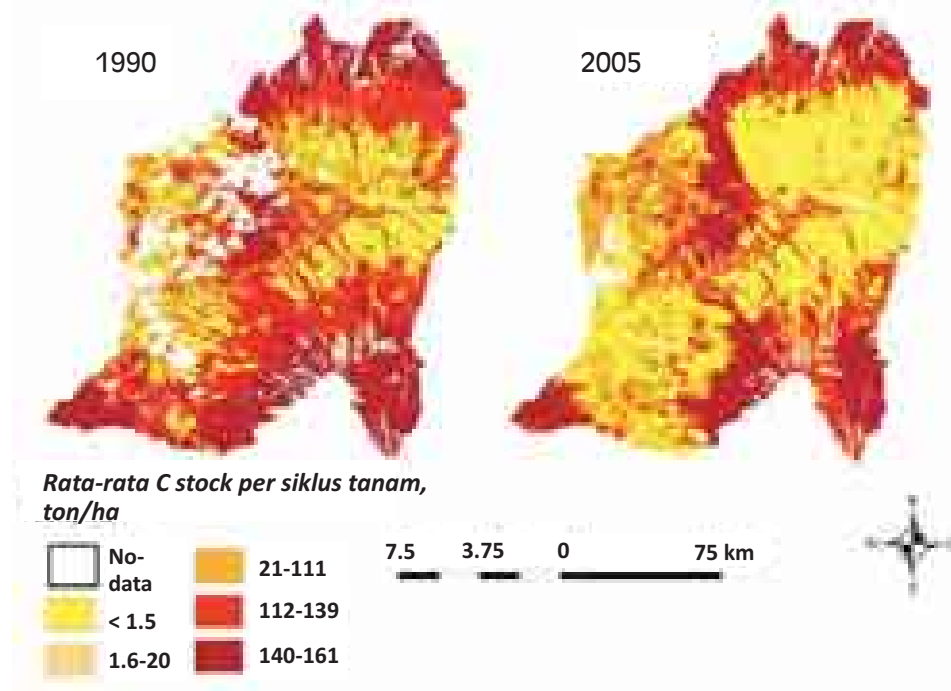
Penghitungan cadangan karbon rata-rata per siklus tanam (*time-averaged C stock*) dilakukan untuk memperoleh gambaran tentang dinamika cadangan karbon di tingkat bentang lahan pada kondisi saat ini. Besarnya *time-averaged Carbon stock* tersebut dipengaruhi oleh tingkat akumulasi karbon per tahun, besarnya cadangan karbon minimum dan maksimum per sistem penggunaan lahan, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai cadangan karbon maksimum dan waktu rotasi (panen). *Time-averaged C stock* pada sistem perkebunan (pinus, mahoni, dan damar umur 25-40 tahun) sekitar 139 ton/ha (Tabel 12), sistem agroforestri sekitar 111 ton/ha, sedang tanaman semusim hanya sekitar 79 ton/ha.

Tabel 12. Cadangan karbon dan *time averaged-Carbon stock* di berbagai tutupan lahan yang ada di Kecamatan Ngantang (Sumber data: Hairiah *et al.* 2010)

Tutupan lahan	Sistem penggunaan lahan	Populasi per ha	Bio-masa tajuk	Bio-masa akar	Tumbuhan bawah	Nekro-masa	Tanah, 0-30 cm	Total cadangan karbon	Umur max.	Time Avg. C Stock, ton/ ha
Hutan alami	Hutan terdegradasi	2248	38.4	9.60	0.15	2.15	111	161	50	161
Agroforestri	AF_Multistrata	3970	42.1	10.5	0.14	1.29	69	123	30	111
	AF_sederhana	4018	21.4	5.3	0.91	2.33	69	99	30	
Perkebunan	Pinus, 24 th	795	82.6	20.7	1.22	1.59	77	183	30	144
	Damar		87.5	21.9	2.67	1.34	77	190	40	146
	Mahoni	963	95.2	23.8	0.69	1.54	77	198	50	212
	Cengkeh		47.3	11.8	1.53	4.15	77	142	35	70
	Bambu	3188	63.9	16.0	0.40	2.20	77	159	15	121
Rumput	Rumput gajah, 4 bl	-	15.0	3.7	4.41	1.02	76	100	0.25	89
Hutan alami	Rumput gajah, 1 bl	-	0.9	0.2	0.21	0.53	76	78		
Agroforestri	Sayuran	-	1.8	0.4	0.68	0.55	76	79	0.25	79

5.2. Ekstrapolasi dari tingkat lahan ke tingkat bentang lahan (DAS)

Distribusi geografik terjadinya konversi hutan alami dan penurunan karbon terutama terjadi di daerah puncak bukit di sebelah utara Kecamatan Pujon yang meliputi Desa Pandesari, Wiyurejo, Madiredo, Tawang Sari dan Ngabab (Gambar 20).



Gambar 20. Distribusi cadangan karbon di sub-DAS Kali Konto menurut peta tutupan lahan tahun 1990 dan 2005 (Sumber: Hairiah *et al.* 2010)

Untuk ekstrapolasi data cadangan karbon di tingkat lahan ke tingkat bentang lahan (DAS), dilakukan dengan jalan mengalikan besarnya luasan masing-masing tutupan lahan dengan data perubahan rata-rata cadangan karbon per siklus tanam (*time-averaged C stock*) dari masing-masing tutupan lahan (Tabel 12). Estimasi emisi karbon di tingkat bentang lahan akibat perubahan tutupan lahan disajikan dalam Gambar 20.

Dalam kurun waktu 15 tahun (1990-2005) di sub DAS Kali Konto telah terjadi emisi karbon sebesar 0.35 M ton, dengan sequestrasi karbon sebesar 0.03 M ton (Tabel 13). Jadi emisi bersih karbon untuk seluruh kawasan sekitar 0.32 M ton. Adanya perubahan tutupan lahan di DAS Kali Konto tersebut menyebabkan tingginya

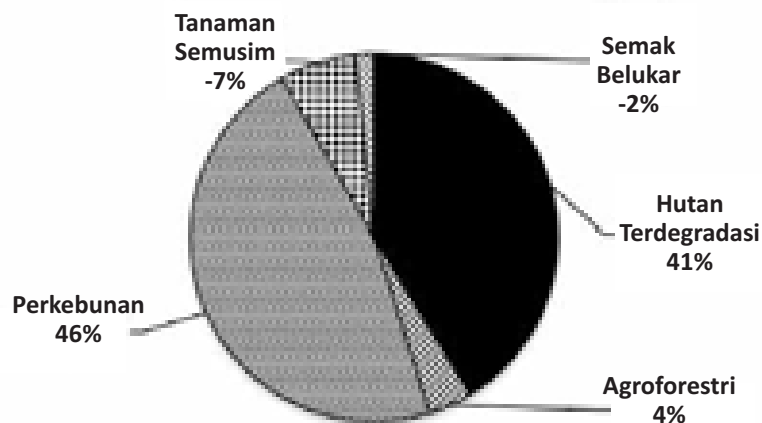
tingkat emisi sebesar 15.4 ton C/ha atau per tahunnya telah terjadi emisi sebesar 1.03 ton C/ha atau setara dengan 3.76 ton CO₂/ha.

Tabel 13. Ringkasan hasil perhitungan faktor emisi di DAS Kali Konto selama 15 tahun (1990-2005)

Luas, ha	20855.88
Emisi, M ton	0.35
Sequestrasi, M ton	0.03
Net emisi, M ton	0.32
Tingkat emisi, ton/ha	15.4
Faktor emisi, ton C/ha/th	1.03
Faktor emisi, ton CO ₂ /ha/th*	3.76

* Keterangan:
Untuk mengkonversi emisi C ke CO₂, maka faktor emisi C x 3.67
Mton = 10⁶ ton

Total kehilangan cadangan karbon (emisi C) di seluruh DAS Kali Konto adalah sekitar 320.689 ton, dimana sekitar 158.969 ton adalah berasal dari alih guna lahan hutan menjadi lahan-lahan pertanian, dan sekitar 179.208 ton berasal dari lahan perkebunan yang diubah menjadi lahan tanaman semusim (Gambar 20). Sedikit sekali perubahan luasan yang terjadi pada lahan agroforestri yaitu sekitar 14.785 ton (4% dari total).



Gambar 21. Estimasi emisi karbon di sub-DAS Kali Konto berdasarkan perubahan tutupan lahan yang terjadi pada tahun 1990-2005

(Keterangan: tanda (-) berarti tidak ada emisi atau sequestrasi)

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

Peningkatan luasan sistem penggunaan lahan tanaman semusim pada tahun 2005 hanya meningkatkan cadangan karbon yang sangat kecil yaitu hanya sekitar 25,924 ton/ha/th, tetapi jumlah kehilangan karbon dari seluruh kawasan jauh lebih besar (352,963 ton/ha/th) dari jumlah karbon yang diserap tersebut. Penanaman pohon damar, pinus, dan mahoni di sub-DAS Kali Konto melalui Program Penghutan Kembali yang dilakukan oleh PERHUTANI pada tahun 1990-2005 tidak bisa mengurangi jumlah kehilangan cadangan karbon akibat alih guna hutan yang terjadi di kawasan tersebut.

Guna mengembalikan fungsi DAS sebagai penyimpan karbon yang paling efektif, perlu dilakukan usaha konservasi lahan hutan alami yang ada. Upaya penanaman pohon dalam sistem monokultur (perkebunan), masih akan diikuti dengan pelepasan karbon dalam jumlah yang relatif besar pada saat pemanenan secara serentak. Pemilihan jenis pohon penayang kopi yang lebih beragam dalam lahan agroforestri kopi akan memperkecil besarnya pelepasan karbon ke atmosfer. Guna meningkatkan keberhasilan usaha konservasi hutan di DAS Kali Konto, dukungan seluruh masyarakat di sekitar hutan sangat diperlukan.



Simulasi rencana perubahan penggunaan lahan yang menguntungkan secara ekonomi dan ekologi. (Foto: Kurniatun Hairiah)

6. Permainan Strategi Pengembangan Wilayah Konservasi Karbon



Foto 11. Praktek permainan strategi pengembangan wilayah

Permainan ini dirancang untuk memberikan pemahaman dasar mengenai: (1) komponen penghitungan dinamika cadangan karbon (2) efek perubahan penggunaan lahan terhadap dinamika cadangan karbon (3) efek perencanaan pembangunan wilayah terhadap tingkat emisi dan (4) strategi penurunan emisi. Sambil bermain, peserta akan berlatih berhitung sederhana melalui miniatur data aktivitas dan faktor emisi sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 22 dan Gambar 23.

PERMAINAN 1: KUANTIFIKASI EMISI DAN PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN

Langkah 1: Menghitung perubahan lahan dari peta tahun 2000 dan tahun 2010.

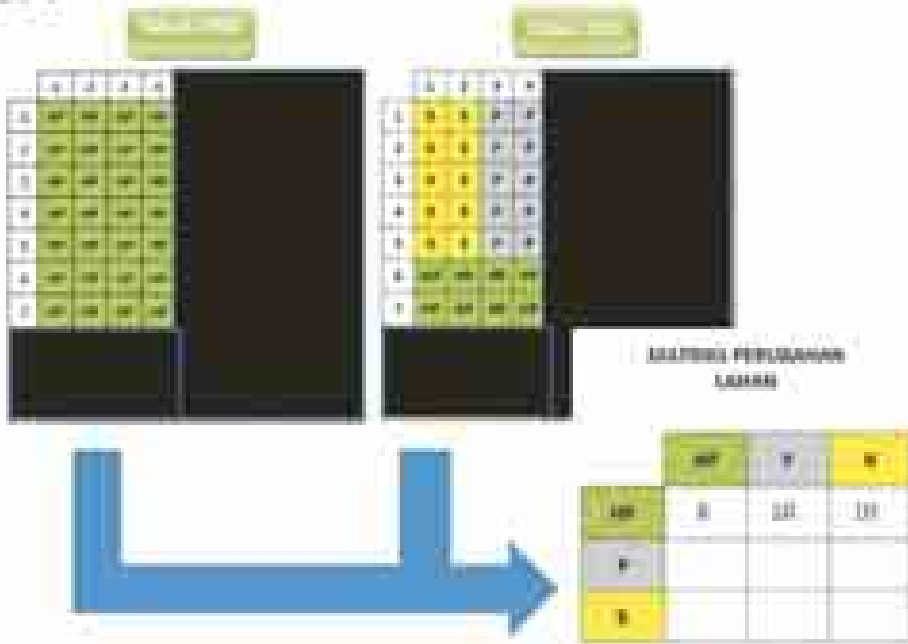
- Permainan ini dilakukan dengan menggunakan matriks berukuran 10x10. Beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah: (1) setiap kotak dalam matriks mewakili luasan lahan sebesar 1 ha, sehingga total lahan yang digunakan dalam permainan ini dianggap mewakili total 100 ha lahan (2) Setiap kotak memiliki atribut penutupan lahan yang berbeda: hutan primer (HP), perkebunan (P) dan belukar (B)
- Tulislah perubahan penggunaan lahan yang terjadi pada lembar “Matriks Perubahan Lahan” yang tersedia. Untuk mempermudah, mulailah dengan menghitung perubahan lahan Hutan Primer (HP), tutuplah penggunaan lahan yang lain (Langkah 1A, 1B dan 1C) (Gambar 22 dan 23). Data ini disebut dengan “data aktifitas” atau data kuantifikasi perubahan lahan.



Gambar 22. Matriks penggunaan lahan tahun 2000 dan tahun 2010

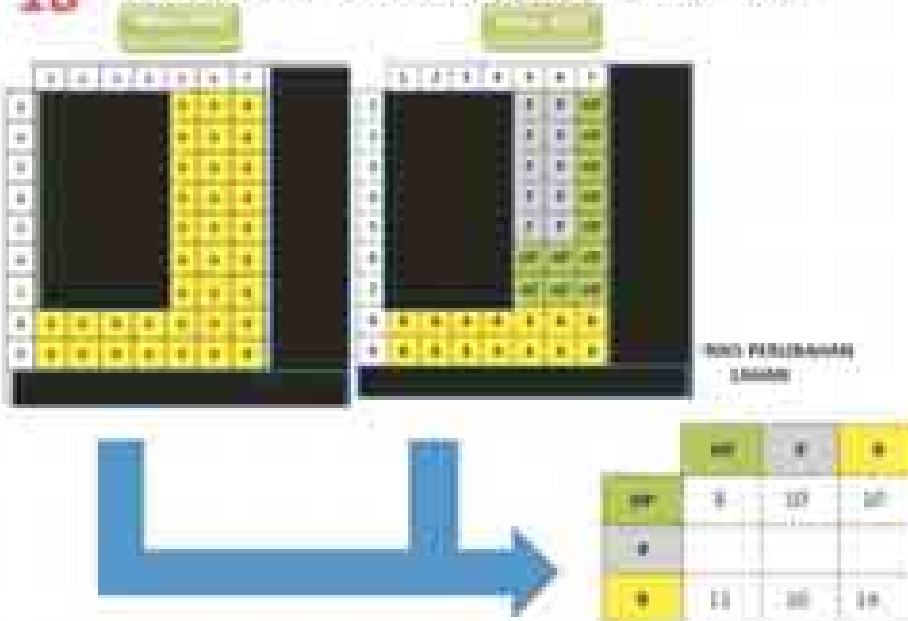
1A

PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN HP



1B

PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN BELUKAR



PENGUKURAN CADANGAN KARBON



Gambar 23. Matriks perhitungan perubahan penggunaan lahan tiap tutupan lahan; Perubahan penggunaan lahan hutan primer HP (1A); Perubahan Penggunaan lahan belukar (1B); Perubahan penggunaan lahan perkebunan (1C)

72

Langkah 2: Menghitung faktor emisi karbon.

Menghitung faktor emisi, diperlukan data rata-rata cadangan karbon per siklus tanam.

- Hitunglah perubahan cadangan karbon dari berbagai sistem penggunaan lahan yang telah diukur di lapangan, dengan cara menghitung selisih dari total cadangan karbon dari masing-masing penggunaan lahan. Misalnya, jika lahan hutan dengan cadangan karbon 200 ton/ha, berubah menjadi perkebunan dengan cadangan karbon 100 ton/ha, maka telah terjadi kehilangan cadangan karbon sebesar 100 ton/ha. Tulislah angka tersebut pada kolom HP yang diubah menjadi P. Bila didapatkan nilai negatif (-) maka berarti tidak terjadi emisi, tetapi yang terjadi justru sequestrasi.
- Masukkan semua hasil perhitungan ke dalam matriks faktor emisi (Gambar 24). Data ini disebut dengan “data faktor emisi”.



Gambar 24. Matriks perhitungan faktor emisi karbon

Langkah 3: Estimasi total emisi/sequestrasi di tingkat bentang lahan.

- Hitung perubahan cadangan karbon dengan mengalikan masing-masing kolom pada matriks perubahan lahan dengan matriks faktor emisi.
- Jumlahkan semua hasil perhitungan, sehingga diperoleh total emisi sebesar 1250 ton (Gambar 25). Untuk periode 2000 – 2010, laju emisi karbon rata-rata adalah 1.25 ton/ha/th.

PENGUKURAN CADANGAN KARBON



Gambar 25. Matriks perhitungan perubahan cadangan karbon

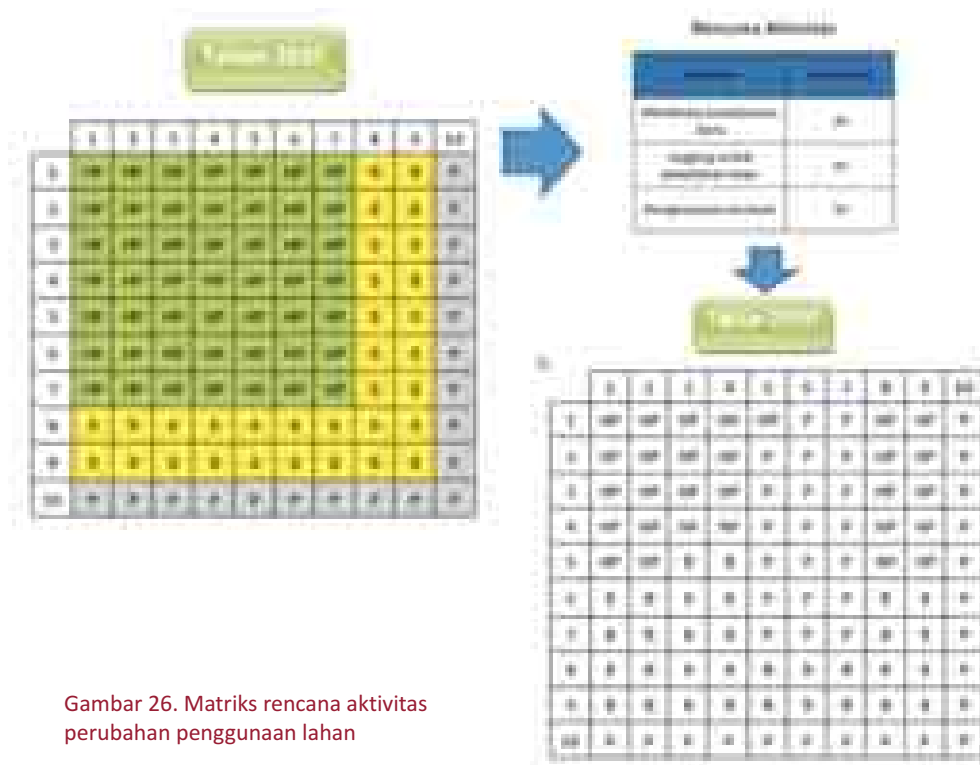
74

PERMAINAN 2: PERENCANAAN PERUBAHAN LAHAN DAN STRATEGI PENGURANGAN EMISI

Langkah 1: Merencanakan aktivitas perubahan penggunaan lahan.

- Lakukan rencana aktivitas perubahan penggunaan lahan yang harus dilakukan pada Gambar 26 berdasarkan matriks penggunaan lahan tahun 2010.
- Tuliskan perubahan penggunaan lahan yang terjadi pada lembar “Matriks Perubahan Lahan tahun 2020” yang tersedia.

PENGUKURAN CADANGAN KARBON



Gambar 26. Matriks rencana aktivitas perubahan penggunaan lahan

Langkah 2: Menghitung estimasi total emisi/sequestrasi di tingkat bentang lahan dengan melakukan langkah 1 sampai langkah 3 pada permainan 1 mengenai kuantifikasi emisi dan perubahan penggunaan lahan.

Langkah 3: Menghitung manfaat ekonomi akibat rencana aktivitas yang dilakukan.

- Hitung manfaat ekonomi dengan menghitung berapa banyak perubahan yang dilakukan pada langkah 1.
- Hitunglah perubahan matriksnya saja sehingga diperoleh rata-rata emisi tahunan dan manfaat ekonomi yang diperoleh (Gambar 27).

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

DISTRIBUSI C-STOCK (planned)				MANFAAT EKONOMI (planned)			
	NP	P	B	Aktivitas	Manfaat Ekonomi (S)	Luas (ha)	Jumlah
NP	0	1000	1000	Membuka perkebunan baru			
P	0	0	0	- Dari hutan	25	20	500
B	-1000	0	0	- Dari belukar	15	0	0
				Logging untuk kebutuhan kayu			
				- Dari hutan	20	10	200
				- Dari perkebunan	10	0	0
				Penghutan kembali			
				- Dari perkebunan	10	0	0
				- Dari belukar	10	10	100
						40	800

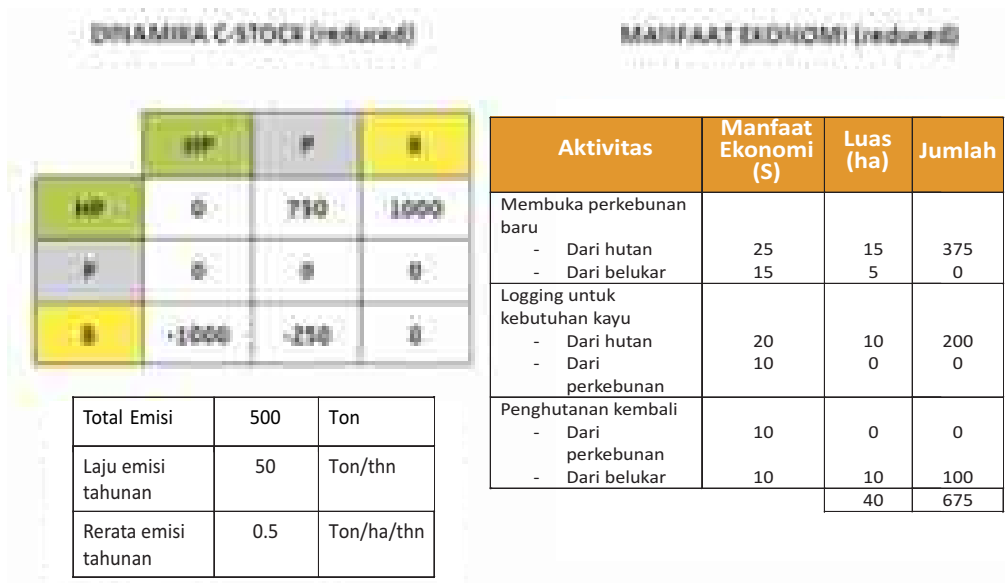
Total Emisi	1000	Ton
Laju emisi tahunan	100	Ton/thn
Rerata emisi tahunan	1	Ton/ha/thn

Gambar 27. Matriks perubahan penggunaan lahan dan manfaat ekonomi akibat rencana aktivitas yang dilakukan

Langkah 4: Strategi penurunan emisi di tingkat bentang lahan.

- Untuk melakukan penurunan emisi pada Gambar 25 menjadi kurang dari 1 ton/ha/th, maka diperlukan strategi perubahan rencana aktivitas yang dilakukan pada langkah 1.
- Lakukan rencana aktivitas perubahan lahan lagi berdasarkan matriks penggunaan lahan tahun 2010. Tuliskan pada lembar yang telah disediakan.
- Lanjutkan perhitungan dengan mengulang langkah 2 dan langkah 3 sehingga didapatkan perhitungan emisi dan manfaat ekonomi yang kedua (Gambar 28).

PENGUKURAN CADANGAN KARBON



Gambar 28. Matriks perubahan penggunaan lahan dan manfaat ekonomi dalam rangka strategi pengurangan emisi

Langkah 5: Penurunan emisi atau sequestrasi di tingkat bentang lahan.

- Tuliskan hasil perhitungan yang didapatkan pada langkah 3 dan langkah 4 untuk membandingkan seberapa besar penurunan emisinya (Gambar 29).
- Hitung persentase penurunan emisi dan manfaat ekonomi untuk mengetahui keberhasilan rencana aktivitas yang telah dilakukan.

Tabel Ringkasan Strategi Pengurangan Emisi

	Rerata Emisi Tahunan (ton/ha/th)	Manfaat Ekonomi (\$)
Rencana	0.5	600
Pengurangan emisi	0.5	675

Gambar 29. Perbandingan rata-rata emisi tahunan dan manfaat ekonomi rencana aktivitas untuk strategi pengurangan emisi karbon



Daftar pustaka

- Anonymous. 1985. Soils and soil conditions, Kali Konto upper watershed, East Java. Project Report ATA 206, Universitas Brawijaya, Faculty of Agriculture, Malang.
- Arifin J. 2001. Estimasi Penyimpanan C Pada Berbagai Sistem Penggunaan Lahan di Kecamatan Ngantang, Malang, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang, 61pp.
- Basuki TM, van Laake PE, Skidmore AK, Hussin YA. 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management* 257: 1684–1694.
- Brown S, Gillespie A, Lugo AE. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35: 881–902.
- Brown S, 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests, a primer. FAO Forestry paper No. 134. FAO, Rome, 55 pp.
- Chave J, Andalo C, Brown S, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, Folster H, Fromard F, Higuchi N, Kira T, Lescure JP, Nelson BW, Ogawa H, Puig H, Riera B and Yamakura T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145:87-99. DOI 10.1007/s00442-005-0100-x.
- Frangi JL and Lugo AE. 1985. Ecosystem dynamics of a subtropical floodplain forest. *Ecological Monographs* 55:351-369.
- Houghton RA, Lawrence KT, Hakler JL and Brown S. 2001. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. *Glob.Change Biol.* 7:731-746.
- 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 DA. (eds). *Modelling Global Change Impacts on the Soil Environment*. IC-SEA Report No. 6. SEAMEOBIOTROP-GCTE ICSEA, Bogor, p: 46-77
- Hairiah K, Sitompul SM, 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, Sitompul SM, van Noordwijk M and Palm C. 2001. Methods for sampling carbon stocks above and below ground. ASB Lecture Note 4B. ICRAF, Bogor, 23pp.
- Hairiah K dan Rahayu S. 2007. Petunjuk praktis Pengukuran karbon tersimpan di berbagai macam penggunaan lahan. World Agroforestry Centre, ICRAF Southeast Asia. ISBN 979-3198-35-4. 77p

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

- Hairiah K dan Rahayu S. 2010. Mitigasi perubahan iklim. Agroforestri untuk mempertahankan cadangan karbon lanskap. Simposium Kopi, Bali, 4-5 Oktober 2010.
- Harja D, Dewi S, Heryawan FX, van Noordwijk M. 2011. Forest carbon-stock estimates based on National Forest Inventory data. ALLREDDI Brief 02. Bogor, Indonesia: World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Program.
- Ketterings QM, 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.
- Mokany K, Raison JR, and Prokushkin AS. 2006. Critical analysis of root-shoot ratios in terrestrial biomes. *Glob. Change Biol.* 12: 84-96.
- 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.
- Ramankutty N, Gibbs HK, Achard F, DeFries R, Foley JA and Houghton RA. 2007. *Glob.Change Biol.* 13:51-66
- 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, Lawson G, Soumaré A and Groot JJR and Hairiah K. 1996. Root distribution of trees and crops: Competition and/or complementary. In: Chin Ong and Peter Huxley (eds.) *Tree-Crop interactions - a physiological approach*. CABI - ICRAF. p 319-364.
- van Noordwijk M, Rahayu S, Hairiah K, Wulan YC, 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 MJ. 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 and Tennigkeit T. 2000. Forest inventory and monitoring manual. HBS-ICRAF-CMU, Chiang Mai, 30p.
- Yuliasmara, Wibawa A, Prawoto AA. 2009. Karbon tersimpan pada berbagai umur dan sistem pertanaman kakao: pendekatan allometrik. *Pelita Perkebunan* 25(2): 86-100.

Lampiran I



Keanekaragaman vegetasi pada berbagai penggunaan lahan dapat membantu fungsi hidrologi dan mempertahankan cadangan karbon.
Foto: Stanislav Kostov

Lampiran 1. Karbon tersimpan pada setiap batang pohon berdasarkan ukuran diameter pada tiga kondisi iklim dan empat tipe penggunaan lahan (Catatan: Nilai berat jenis kayu yang digunakan dalam persamaan allometrik pada pengukuran karbon berdasarkan rata-rata berat jenis kayu menurut sistem penggunaan lahannya, hutan primer 0.68; hutan bekas tebangan (hutan terganggu) 0,61; agroforest 0.6 dan belukar 0.59)

Diameter (cm)	Karbon pohon (kg/pohon), berdasarkan persamaan allometrik Chave et al., 2005											
	Daerah kering				Daerah lembab				Daerah basah			
	Hutan primer	Hutan terganggu	Agroforest	Belukar	Hutan primer	Hutan terganggu	Agroforest	Belukar	Hutan primer	Hutan terganggu	Agroforest	Belukar
5	4.3	3.9	3.8	3.7	3.4	3.0	3.0	2.9	3.3	3.0	2.9	2.9
6	6.5	5.8	5.7	5.6	5.4	4.9	4.8	4.7	5.2	4.7	4.6	4.5
7	9.2	8.3	8.1	8.0	8.1	7.3	7.2	7.1	7.6	6.8	6.7	6.6
8	12.5	11.2	11.0	10.8	11.6	10.4	10.2	10.0	10.6	9.5	9.3	9.2
9	16.3	14.6	14.4	14.2	15.8	14.2	13.9	13.7	14.2	12.7	12.5	12.3
10	20.8	18.6	18.3	18.0	20.9	18.7	18.4	18.1	18.4	16.5	16.2	16.0
11	25.8	23.2	22.8	22.4	26.9	24.1	23.7	23.3	23.3	20.9	20.6	20.2
12	31.5	28.3	27.8	27.4	33.9	30.4	29.9	29.4	29.0	26.0	25.6	25.1
13	37.9	34.0	33.4	32.9	41.9	37.6	37.0	36.4	35.3	31.7	31.2	30.7
14	44.9	40.3	39.6	38.9	51.0	45.8	45.0	44.3	42.5	38.1	37.5	36.9
15	52.6	47.1	46.4	45.6	61.3	55.0	54.1	53.2	50.4	45.2	44.5	43.8
16	60.9	54.6	53.7	52.9	72.7	65.2	64.2	63.1	59.2	53.1	52.2	51.4
17	70.0	62.8	61.7	60.7	85.4	76.6	75.3	74.1	68.8	61.7	60.7	59.7
18	79.7	71.5	70.3	69.1	99.3	89.1	87.6	86.2	79.2	71.1	69.9	68.8
19	90.1	80.8	79.5	78.2	114.5	102.7	101.0	99.4	90.6	81.2	79.9	78.6
20	101.2	90.8	89.3	87.8	131.1	117.6	115.7	113.7	102.8	92.2	90.7	89.2
21	113.1	101.4	99.8	98.1	149.0	133.7	131.5	129.3	115.9	104.0	102.3	100.6
22	125.6	112.7	110.8	109.0	168.4	151.1	148.6	146.1	129.9	116.6	114.6	112.7
23	138.9	124.6	122.5	120.5	189.2	169.7	166.9	164.1	144.9	130.0	127.8	125.7
24	152.8	137.1	134.8	132.6	211.5	189.7	186.6	183.5	160.8	144.2	141.9	139.5

Karbon pohon (kg/pohon), berdasarkan persamaan allometrik Chave <i>et al.</i> , 2005												
Diameter (cm)	Daerah kering			Daerah lembab			Daerah basah					
	Hutan primer	Hutan terganggu	Belukar	Hutan primer	Hutan terganggu	Belukar	Hutan primer	Hutan terganggu	Belukar	Hutan primer	Hutan terganggu	Belukar
25	167.5	150.2	147.8	145.3	235.2	211.0	207.6	204.1	177.6	159.4	156.7	154.1
26	182.9	164.0	161.4	158.7	260.5	233.7	229.9	226.0	195.5	175.3	172.5	169.6
27	199.0	178.5	175.6	172.6	287.4	257.8	253.6	249.3	214.2	192.2	189.0	185.9
28	215.8	193.6	190.4	187.2	315.8	283.3	278.7	274.0	234.0	209.9	206.5	203.0
29	233.3	209.3	205.8	202.4	345.8	310.2	305.2	300.1	254.8	228.5	224.8	221.0
30	251.5	225.6	221.9	218.2	377.5	338.6	333.1	327.5	276.5	248.0	244.0	239.9
31	270.5	242.6	238.6	234.7	410.8	368.5	362.5	356.4	299.2	268.4	264.0	259.6
32	290.1	260.3	256.0	251.7	445.8	399.9	393.3	386.8	323.0	289.7	285.0	280.2
33	310.5	278.5	273.9	269.4	482.4	432.8	425.7	418.6	347.7	311.9	306.8	301.7
34	331.5	297.4	292.5	287.6	520.8	467.2	459.5	451.8	373.5	335.0	329.5	324.1
35	353.3	316.9	311.7	306.5	560.8	503.1	494.9	486.6	400.3	359.1	353.2	347.3
36	375.7	337.1	331.5	326.0	602.6	540.6	531.7	522.9	428.1	384.0	377.7	371.4
37	398.9	357.8	352.0	346.1	646.2	579.7	570.2	560.7	456.9	409.9	403.1	396.4
38	422.7	379.2	373.0	366.8	691.5	620.3	610.1	600.0	486.7	436.6	429.5	422.3
39	447.3	401.2	394.7	388.1	738.6	662.5	651.7	640.8	517.6	464.3	456.7	449.1
40	472.5	423.9	416.9	410.0	787.4	706.4	694.8	683.2	549.5	493.0	484.9	476.8
41	498.4	447.1	439.8	432.4	838.1	751.8	739.5	727.2	582.5	522.5	513.9	505.4
42	525.0	470.9	463.2	455.5	890.6	798.9	785.8	772.7	616.4	553.0	543.9	534.8
43	552.2	495.4	487.3	479.2	944.9	847.6	833.7	819.8	651.4	584.4	574.8	565.2
44	580.2	520.4	511.9	503.4	1001.0	898.0	883.2	868.5	687.5	616.7	606.6	596.5
45	608.8	546.1	537.1	528.2	1059.0	950.0	934.4	918.8	724.5	650.0	639.3	628.6
46	638.0	572.3	563.0	553.6	1118.8	1003.6	987.2	970.7	762.6	684.1	672.9	661.7
47	667.9	599.2	589.4	579.5	1180.5	1058.9	1041.6	1024.2	801.8	719.2	707.5	695.7
48	698.5	626.6	616.3	606.1	1244.0	1115.9	1097.6	1079.3	841.9	755.3	742.9	730.5
49	729.7	654.6	643.9	633.2	1309.4	1174.6	1155.3	1136.1	883.1	792.2	779.2	766.3

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

Diameter (cm)	Karbon pohon (kg/pohon), berdasarkan persamaan allometrik Chave <i>et al.</i> , 2005											
	Daerah kering			Daerah lembab			Daerah basah					
	Hutan primer	Hutan terganggu	Agroforest	Belukar	Hutan primer	Hutan terganggu	Agroforest	Belukar	Hutan primer	Hutan terganggu	Agroforest	Belukar
50	761.6	683.2	672.0	660.8	1376.7	1234.9	1214.7	1194.5	925.4	830.1	816.5	802.9
51	794.1	712.4	700.7	689.0	1445.8	1297.0	1275.7	1254.5	968.6	868.9	854.7	840.4
52	827.3	742.1	730.0	717.8	1516.9	1360.7	1338.4	1316.1	1012.9	908.6	893.7	878.9
53	861.1	772.4	759.8	747.1	1589.8	1426.1	1402.8	1379.4	1058.2	949.3	933.7	918.2
54	895.5	803.3	790.1	777.0	1664.6	1493.3	1468.8	1444.3	1104.6	990.9	974.6	958.4
55	930.5	834.7	821.0	807.4	1741.3	1562.1	1536.5	1510.9	1151.9	1033.3	1016.4	999.4
56	966.2	866.7	852.5	838.3	1820.0	1632.6	1605.8	1579.1	1200.3	1076.7	1059.1	1041.4
57	1002.4	899.2	884.5	869.8	1900.5	1704.8	1676.9	1649.0	1249.7	1121.0	1102.6	1084.3
58	1039.3	932.3	917.1	901.8	1982.9	1778.8	1749.6	1720.5	1300.1	1166.2	1147.1	1128.0
59	1076.8	966.0	950.1	934.3	2067.3	1854.5	1824.1	1793.7	1351.5	1212.4	1192.5	1172.6
60	1114.9	1000.1	983.7	967.3	2153.5	1931.8	1900.2	1868.5	1403.9	1259.4	1238.7	1218.1

PENGUKURAN CADANGAN KARBON

Lampiran 2. Karbon tersimpan pada tanaman kopi, kakao, pisang, bambu dan kelapa sawit berdasarkan persamaan allometrik pada Tabel 3.

Diameter (cm)	Karbon (kg/pohon)			Karbon (ton/pohon)		
	Kopi	Kakao	Pisang	Bambu	Tinggi (m)	Kelapa sawit
1	0.1	0.1			1	0.1
2	0.5	0.2			2	0.1
3	1.2	0.5			3	0.2
4	2.2	0.9	0.3	1.4	4	0.2
5	3.6	1.3	0.4	2.4	5	0.3
6	5.2	1.9	0.6	3.6	6	0.3
7	7.1	2.6	0.9	5.1	7	0.3
8	9.4	3.4	1.2	6.9	8	0.4
9	11.9	4.3	1.5	9.0	9	0.4
10	14.8	5.3	1.9	11.5	10	0.5
11	18.1	6.4	2.3	14.3	11	0.5
12	21.6	7.6	2.7	17.4	12	0.6
13	25.5	8.9	3.3	20.9	13	0.6
14	29.7	10.3	3.8	24.7	14	0.7
15	34.2	11.8	4.4	28.9	15	0.7
16	39.1	13.5	5.1	33.5		
17	44.3	15.2	5.8	38.5		
18	49.8	17.0	6.5	43.9		
19	55.7	18.9	7.3	49.6		
20	61.9	20.9	8.1	55.8		
21		23.1	9.0			
22		25.3	10.0			
23		27.6	11.0			
24		30.0	12.0			
25		32.6	13.1			
26		35.2	14.2			
27		37.9	15.4			
28		40.8	16.7			
29		43.7	18.0			
30		46.7	19.3			

