

PENGHITUNGAN BIOMASSA

Sebuah pengantar untuk studi karbon
dan perdagangan karbon

Dandun Sutaryo

2009

PENGHITUNGAN BIOMASSA
**Sebuah pengantar untuk studi karbon
dan perdagangan karbon**

oleh:
Dandun Sutaryo

Wetlands International Indonesia Programme
2009

Dipublikasikan pada Mei 2009

**Dipublikasikan oleh :
Wetlands International Indonesia Programme
Jl. A. Yani 53. BOGOR
PO Box 254/BOO, BOGOR 16002
Tel. +62 251 8312189; fax: +62 251 8325755
© Wetlands International Indonesia Programme**

DAFTAR ISTILAH

- Alometrik (persamaan)** : Suatu fungsi atau persamaan matematika yang menunjukkan hubungan antara bagian tertentu dari makhluk hidup dengan bagian lain atau fungsi tertentu dari makhluk hidup tersebut. Persamaan tersebut digunakan untuk menduga parameter tertentu dengan menggunakan parameter lainnya yang lebih mudah diukur.
- Biomassa** : Total berat / massa atau volume organisme dalam area atau volume tertentu. (IPCC glossary)
- Total berat kering dari seluruh makhluk hidup yang dapat didukung pada masing-masing tingkat rantai makanan. (EPA glossary)
- Keseluruhan materi yang berasal dari makhluk hidup, termasuk bahan organik baik yang hidup maupun yang mati, baik yang ada di atas permukaan tanah maupun yang ada di bawah permukaan tanah, misalnya pohon, hasil panen, rumput, serasah, akar, hewan dan sisa /kotoran hewan. (EPA glossary)
- DBH** : Diameter Breast Height, diameter setinggi dada atau kurang lebih 1.3 m dari permukaan tanah. Metode mengukur pohon dalam penelitian ekologi hutan, penelitian biomassa atau pendataan potensi hutan.
- GBH** : Girth Breast Height. Keliling pohon setinggi dada. Variasi lain dalam pengukuran pohon selain DBH. Dalam prakteknya pengukuran GBH lebih sering dilakukan dan hasilnya dikonversikan menjadi DBH.
- Basal area** : Luas batang pohon yang dihitung dari DBH. Luas keseluruhan basal area per satuan luas menunjukkan nilai dominansi dari tumbuhan tersebut.
- Dekomposisi** : Penguraian. Dalam hal ini penguraian bahan organik menjadi bahan anorganik melalui proses fisika, kimia atau biologi. Pembusukan bahan organik diamati.
- Densitas** : Kerapatan. Nilai yang menunjukkan jumlah individu per satuan luas.

Densitas biomassa	: <i>Biomass density</i> , jumlah biomassa per satuan luas.
Expansion factor	: suatu factor atau nilai yang menggandakan suatu jumlah nominal tertentu (volume atau biomass), yang mencakup 1 atau beberapa bagian pohon ke jumlah nominal lainnya yang mencakup keseluruhan pohon
BEF	: (<i>Biomass expansion Factor</i>) Faktor yang menggandakan biomassa batang ke biomassa keseluruhan pohon.
VEF	: <i>Volume expansion factor</i>
GPG LULUCF	: Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry
Herba	: Tumbuhan dengan batang basah atau tidak berkayu. Umumnya berupa tumbuhan semusim.
Humus	: Lapisan bahan organik di lantai hutan yang sudah terdekomposisi sebagian besar. Bedanya dengan serasah adalah serasah masih segar atau sangat sedikit terdekomposisi. Salah satu indicator sudah mengalami dekomposisi adalah bahan yang ada tidak lagi mempunyai bentuk seperti bentuk asalnya.
In situ	: frasa latin yang artinya di tempatnya. Dalam kaitannya dengan pengukuran atau penelitian <i>in situ</i> berarti dilaksanakan langsung di tempatnya (tidak dibawa keluar lokasi misalnya ke laboratorium)
Karbon	: unsur kimia yang dengan simbol C dan nomor atom 6
Siklus Karbon	: istilah yang digunakan untuk mendeskripsikan perubahan karbon (dalam berbagai bentuk) di atmosfer, laut, biosfer terrestrial dan deposit geologis.
Kantong karbon	: <i>Carbon pool</i> . Tempat atau bagian ekosistem yang menjadi tempat karbon tersimpan.
Liana	: Tumbuhan membelit atau memanjat.
Pancang	: Tingkatan pohon setelah tingkatan semai (seedling). Pada komunitas hutan tropic basah berupa pohon muda dengan diameter 2 cm hingga sekitar 8 atau 10 cm. Pada iklim yang lebih kering diameter 10 cm

mungkin tidak lagi tergolong sapling karena rata-rata diameter pohon di komunitas tersebut lebih kecil.

- Paku** : Secara taksonomi paku merujuk pada tumbuhan pteridophyta yakni suatu kelompok tumbuhan tumbuhan yang tidak berbiji melainkan berspora. Jika lumut belum dapat dibedakan antara batang akar dan daun maka paku sudah terdeferensiasi dengan sempurna menjadi akar batang dan daun.
- Palem** : istilah umum untuk menyebut tumbuh yang memiliki batang menyerupai kelapa atau sejenisnya. Secara taksonomi palem merujuk pada anggota-anggota dari familia *arecaceae* atau *palmae*
- Panen** : Pengambilan sebagian atau keseluruhan bagian tumbuhan untuk pengukuran biomassa. Metode pemanenan ini sering disebut dengan metode *destructive sampling*.
- Sampel** : Cuplikan, contoh. Bagian dari obyek penelitian yang diukur atau diambil untuk analisis.
- Semak** : Tumbuhan berkayu berukuran kecil atau berbatang pendek umumnya mempunyai cabang-cabang yang sangat banyak dan tidak merupakan tanaman semusim.
- Serasah** : Kumpulan bahan organik di lantai hutan yang belum atau sedikit terdekomposisi. Bentuk asalnya masih bias dikenali atau masih bias mempertahankan bentuk aslinya (belum hancur).
- Tegakan** : komunitas tumbuhan (pohon) pada area tertentu.
- Tumbuhan bawah** : tumbuhan bukan pohon yang tumbuh di lantai hutan. Dapat berupa herba, semak atau liana.

DAFTAR ISI

Daftar Istilah	i
Daftar Isi	iv
Daftar Tabel	v
Daftar Gambar	v
Kata Pengantar	vi
I. BIOMASSA DAN KARBON HUTAN	1
1. Biomassa dan Karbon, pengertian dan konsep dasar	1
2. Karbon hutan	2
II. MENGHITUNG BIOMASSA	5
1. Metode penghitungan biomassa	5
2. Estimasi biomassa hutan / pohon	6
3. Menyusun Persamaan allometrik	9
A. Proses sampling lapangan	9
B. Penyusunan Persamaan	11
C. Pengujian atas persamaan allometrik	12
D. Persamaan Umum dan persamaan untuk spesies	15
III. DESAIN SAMPLING DAN PROSEDUR PELAKSANAAN PENELITIAN BIOMASSA DAN KARBON	22
1. Persiapan	22
2. Penentuan sampling plot	24
A. Bentuk Plot	24
B. Ukuran Plot	24
C. Peletakan Plot	25
D. Jumlah Plot	25
3. Biomassa Tegakan	27
4. Biomassa Akar	28
5. Komponen Vegetasi Lainnya	28
6. Bahan organik mati	29
A. Kayu Mati Tegak	29
B. Kayu Mati Tumbang / Rebah	30
C. Tunggak / Tunggul	33
D. Serasah	33
7. Karbon tanah	34
Daftar Pustaka	36

DAFTAR TABEL

<i>Tabel 1.</i> Matriks keputusan kantong karbon utama yang perlu diukur dan dimonitor untuk berbagai contoh proyek karbon berbasis hutan (Brown 1999a)	4
<i>Tabel 2.:</i> Kisaran diameter batang dan ukuran plot yang disarankan	25
<i>Tabel 3.:</i> Kelas dekomposisi dari kayu mati tumbang dan ciri-ciri pengenalnya di lapangan	33

DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 1.</i> Gambar siklus karbon yang disederhanakan	2
<i>Gambar 2:</i> Kemungkinan penggandaan kesalahan dalam penghitungan biomassa hutan. (digambar ulang dari Chave et al. 2004)	22
<i>Gambar 3:</i> Berbagai bentuk plot yang dapat dipakai dalam pengukuran biomassa. .	24
<i>Gambar 4.:</i> Ilustrasi peletakan plot dalam pengambilan data lapangan	25
<i>Gambar 5.:</i> Berbagai cara melakukan pengukuran keliling pohon setinggi dada (sekitar 1.3 m)	27
<i>Gambar 6.:</i> Cara mengukur diameter untuk menghitung biomassa kayu mati tumbang dengan pendekatan plot persegi panjang.	31
<i>Gambar 7.:</i> Prinsip pengukuran diameter kayu mati tumbang pada metode transek garis	32

Kata Pengantar

Penghitungan biomassa merupakan salah satu langkah penting yang harus diketahui dan dilakukan dalam sebuah kegiatan atau proyek mitigasi perubahan iklim di sektor kehutanan. Hanya kegiatan yang bertipe substitusi karbon tidak memerlukan penghitungan biomassa. Jenis-jenis kegiatan lainnya seperti pencegahan deforestasi, pengelolaan hutan tanaman dan agroforestry memerlukan penghitungan biomassa.

Buku ini berisi informasi dasar mengenai penghitungan biomassa. Bagi para peneliti, buku ini mungkin tidak memberikan informasi baru.. Buku ini lebih ditujukan bagi pelaksana kegiatan proyek termasuk para pelaksana lapangan yang kemungkinan besar tidak berlatarbelakang sebagai seorang peneliti. Buku ini diharapkan mampu memberikan informasi dasar untuk memahami metode penghitungan biomassa tertentu (standard) yang harus diadopsi dalam kegiatan proyek karbon.

Informasi dalam buku ini diusahakan untuk disusun dengan ringkas, sederhana dan cukup praktis untuk digunakan sebagai panduan pengukuran biomassa. Buku ini juga tidak dimaksudkan untuk menjadi sebuah dokumen tahap akhir, melainkan sebuah dokumen yang dapat menjadi subyek dari penyempurnaan dan pengembangan.

Dengan kandungan informasi yang terbatas pada proses penghitungan biomassa, buku belum menjawab pertanyaan dan memenuhi keingintahuan pembaca, hal-hal lain yang terkait dengan perdagangan karbon. Pertanyaan tentang desain proyek, standard, validasi dan lain-lain masih harus dicari jawabannya dari sumber lain. Buku ini hanyalah sebuah pengantar yang memungkinkan orang untuk terjun atau setidaknya membuka wawasan tentang perdagangan karbon. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat bagi merka yang memerlukan.

Bogor, April 2009
Penulis

I

BIOMASSA DAN KARBON HUTAN

1. Biomassa dan Karbon, pengertian dan konsep dasar

Biomassa adalah total berat atau volume organisme dalam suatu area atau volume tertentu (*a glossary by the IPCC, 1995*). Biomassa juga didefinisikan sebagai total jumlah materi hidup di atas permukaan pada suatu pohon dan dinyatakan dengan satuan ton berat kering per satuan luas (Brown, 1997).

Dalam suatu penelitian biomassa terdapat banyak istilah yang terkait dengan penelitian tersebut. Beberapa istilah tersebut diantaranya disebutkan dalam Clark (1979), sebagai berikut :

- Biomassa hutan (*Forest biomass*) adalah keseluruhan volume makhluk hidup dari semua species pada suatu waktu tertentu dan dapat dibagi ke dalam 3 kelompok utama yaitu pohon, semak dan vegetasi yang lain.
- Pohon secara lengkap (*Complete tree*) berisikan keseluruhan komponen dari suatu pohon termasuk akar, tunggul /tunggak, batang, cabang dan daun-daun.
- Tunggul dan akar (*Stump and roots*) mengacu kepada tunggul, dengan ketinggian tertentu yang ditetapkan oleh praktek-praktek setempat dan keseluruhan akar. Untuk pertimbangan kepraktisan, akar dengan diameter yang lebih kecil dari diameter minimum yang ditetapkan sering dikesampingkan.
- Batang di atas tunggul (*Tree above stump*) merupakan seluruh komponen pohon kecuali akar dan tunggul. (Dalam kegiatan *forest biomass inventories*, pengukuran sering dikatakan bahwa biomassa di atas tunggul/tunggak ditetapkan sebagai biomassa pohon secara lengkap.
- Batang (stem) adalah komponen pohon mulai di atas tunggul hingga ke pucuk dengan mengecualikan cabang dan daun.
- Batang komersial adalah komponen pohon di atas tunggul dengan diameter minimal tertentu.
- Tajuk pohon (*Stem topwood*) adalah bagian dari batang dari diameter ujung minimal tertentu hingga ke pucuk, bagian ini sering merupakan komponen utama dari sisa pembalakan.
- Cabang (*branches*) semua dahan dan ranting kecuali daun.
- Dedaunan (*foliage*) semua duri-diri, daun, bunga dan buah.

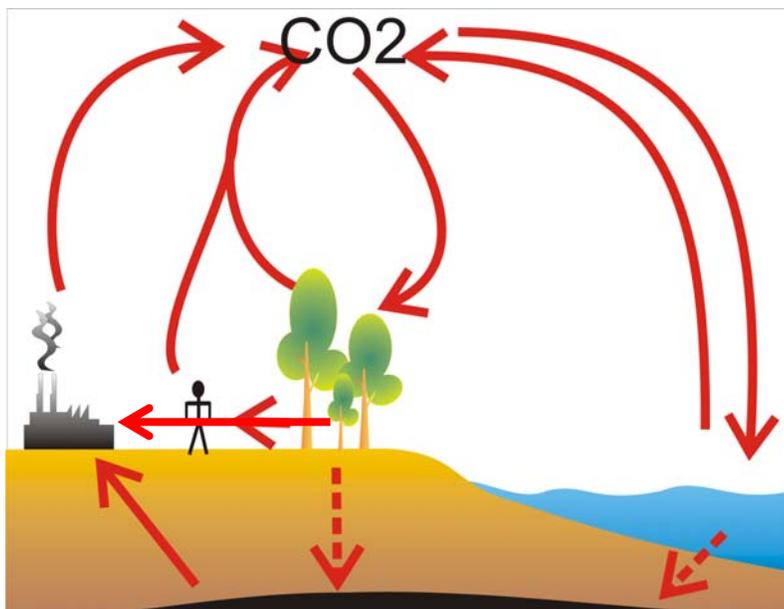
Sejalan dengan perkembangan issue yang terkait dengan biomassa hutan, maka penelitian atau pengukuran biomassa hutan mengharuskan pengukuran biomassa dari seluruh komponen hutan. Dalam perkembangannya, pengukuran biomassa hutan mencakup seluruh biomassa hidup yang ada di atas dan di bawah permukaan dari pepohonan, semak, palem, anakan pohon, dan tumbuhan bawah lainnya, tumbuhan menjalar, liana, epifit dan sebagainya ditambah dengan biomassa dari tumbuhan mati seperti kayu dan serasah.

Pohon (dan organisme foto-ototrof lainnya) melalui proses fotosintesis menyerap CO₂ dari atmosfer dan mengubahnya menjadi karbon organik (karbohidrat) dan menyimpannya dalam biomassa tubuhnya seperti dalam batang, daun, akar, umbi buah dan-lain-lain. Keseluruhan hasil dari proses fotosintesis ini sering disebut juga dengan produktifitas primer. Dalam aktifitas respirasi, sebagian CO₂ yang sudah terikat akan dilepaskan kembali dalam bentuk CO₂ ke atmosfer. Selain melalui respirasi, sebagian dari produktifitas primer akan hilang melalui berbagai proses misalnya herbivory dan dekomposisi. Sebagian dari biomassa mungkin akan berpindah atau keluar dari ekosistem karena terbawa aliran air atau agen pemindah lainnya. Kuantitas biomassa dalam hutan merupakan selisih antara produksi melalui fotosintesis dan konsumsi. Perubahan kuantitas biomassa ini dapat terjadi karena suksesi alami dan oleh aktifitas manusia seperti silvikultur, pemanenan dan degradasi. Perubahan juga dapat terjadi karena adanya bencana alam.

2. Karbon hutan

Biomassa hutan sangat relevan dengan isu perubahan iklim. Biomasa hutan berperan penting dalam siklus biogeokimia terutama dalam siklus karbon. Dari keseluruhan karbon hutan, sekitar 50% diantaranya terseimpan dalam vegetasi hutan. Sebagai konsekuensi, jika terjadi kerusakan hutan, kebakaran, pembalakan dan sebagainya akan menambah jumlah karbon di atmosfer.

Dinamika karbon di alam dapat dijelaskan secara sederhana dengan siklus karbon. Siklus karbon adalah siklus biogeokimia yang mencakup pertukaran /perpindahan karbon diantara biosfer, pedosfer, geosfer, hidrosfer dan atmosfer bumi. Siklus karbon sesungguhnya merupakan suatu proses yang rumit dan setiap proses saling mempengaruhi proses lainnya.



Gambar 1. Gambar siklus karbon yang disederhanakan.

Hutan, tanah laut dan atmosfer semuanya menyimpan karbon yang berpindah secara dinamis diantara tempat-tempat penyimpanan tersebut sepanjang waktu. Tempat penyimpanan ini disebut dengan kantong karbon aktif (*active carbon pool*). Penggundulan hutan akan mengubah kesetimbangan carbon dengan meningkatkan jumlah karbon yang berada di atmosfer dan mengurangi karbon yang tersimpan di hutan, tetapi hal ini tidak menambah jumlah keseluruhan karbon yang berinteraksi dengan atmosfer.

Simpanan karbon lain yang penting adalah deposit bahan bakar fosil. Simpanan karbon ini tersimpan jauh di dalam perut bumi dan secara alami terpisah dari siklus karbon di atmosfer, kecuali jika simpanan tersebut di ambil dan dilepaskan ke atmosfer ketika bahan-bahn tersebut dibakar. Semua pelepasan karbon dari simpanan ini akan menambah karbon yang berada di kantong karbon aktif (*active carbon pool*). Apa yang terjadi saat ini selain kerusakan hutan, adalah begitu tingginya laju pembakaran bahan bakar fosil sehingga jumlah karbon yang berada di atmosfer meningkat dengan pesat.

Tumbuhan akan mengurangi karbon di atmosfer (CO_2) melalui proses fotosynthesis dan menyimpannya dalam jaringan tumbuhan. Sampai waktunya karbon tersebut tersikluskan kembali ke atmosfer, karbon tersebut akan menempati salah satu dari sejumlah kantong karbon. Semua komponen penyusun vegetasi baik pohon, semak, liana dan epifit merupakan bagian dari biomassa atas permukaan. Di bawah permukaan tanah, akar tumbuhan juga merupakan penyimpan karbon selain tanah itu sendiri. Pada tanah gambut, jumlah simpanan karbon mungkin lebih besar dibandingkan dengan simpanan karbon yang ada di atas permukaan. Karbon juga masih tersimpan pada bahan organik mati dan produk-produk berbasis biomassa seperti produk kayu baik ketika masih dipergunakan maupun sudah berada di tempat penimbunan. Carbon dapat tersimpan dalam kantong karbon dalam periode yang lama atau hanya sebentar. Peningkatan jumlah karbon yang tersimpan dalam karbon pool ini mewakili jumlah carbon yang terserap dari atmosfer.

Dalam inventarisasi karbon hutan, carbon pool yang diperhitungkan setidaknya ada 4 kantong karbon. Keempat kantong karbon tersebut adalah biomassa atas permukaan, biomassa bawah permukaan, bahan organik mati dan karbon organik tanah.

- ***Biomassa atas permukaan*** adalah semua material hidup di atas permukaan. Termasuk bagian dari kantong karbon ini adalah batang, tunggul, cabang, kulit kayu, biji dan daun dari vegetasi baik dari strata pohon maupun dari strata tumbuhan bawah di lantai hutan.
- ***Biomassa bawah permukaan*** adalah semua biomassa dari akar tumbuhan yang hidup. Pengertian akar ini berlaku hingga ukuran diameter tertentu yang ditetapkan. Hal ini dilakukan sebab akar tumbuhan dengan diameter yang lebih kecil dari ketentuan cenderung sulit untuk dibedakan dengan bahan organik tanah dan serasah.

- **Bahan organik mati** meliputi kayu mati dan serasah. Serasah dinyatakan sebagai semua bahan organik mati dengan diameter yang lebih kecil dari diameter yang telah ditetapkan dengan berbagai tingkat dekomposisi yang terletak di permukaan tanah. Kayu mati adalah semua bahan organik mati yang tidak tercakup dalam serasah baik yang masih tegak maupun yang roboh di tanah, akar mati, dan tunggul dengan diaeter lebih besar dari diameter yang telah ditetapkan.
- **Karbon organik tanah** mencakup carbon pada tanah mineral dan tanah organik termasuk gambut.

Tabel 1.: Matriks keputusan kantong karbon utama yang perlu diukur dan dimonitor untuk berbagai contoh proyek karbon berbasis hutan (Brown 1999a)

Jenis proyek	Kantong Karbon (<i>Carbon Pool</i>)						Produk kayu
	Biomassa hidup			Biomassa mati		Tanah	
	Pohon	Herba	Akar	Halus	Kasar		
Pencegahan emisi							
- Penghentian deforestasi	Y	M	R	M	Y	R	M
- Reduced impact logging	Y	M	N	M	Y	N	M
- Perbaikan pengelolaan hutan	Y	M	R	M	Y	M	Y
Penyerapan karbon							
- Hutan tanaman	Y	N	R	M	M	R	Y
- Agroforestry	Y	Y	M	N	N	R	M
- Pengelolaan karbon tanah	N	N	M	M	N	Y	N
Substitusi karbon							
-Tanaman kayu bakar daur pendek	N	N	N	N	N	Y	*

Y = harus dihitung, karena perubahan yang besar dalam gudang karbon sehingga harus diukur, R = direkomendasikan, karena perubahan dalam kantong karbon mungkin nyata tetapi biaya pengukuran untuk mencapai ketelitian yang diinginkan akan besar, N = tidak perlu, karena perubahan yang kecil atau kurang berarti terhadap kantong karbon, M = mungkin diperlukan, karena perubahan mungkin perlu diukur tergantung tipe hutan dan atau intensitas pengelolaan proyek. * Karbon dalam bahan bakar yang tidak dibakar

II MENGHITUNG BIOMASSA

1. Metode penghitungan biomassa

Terdapat 4 cara utama untuk menghitung biomassa yaitu (i) sampling dengan pemanenan (*Destructive sampling*) secara *in situ*; (ii) sampling tanpa pemanenan (*Non-destructive sampling*) dengan data pendataan hutan secara *in situ*; (iii) Pendugaan melalui penginderaan jauh; dan (iv) pembuatan model. Untuk masing masing metode di atas, persamaan allometrik digunakan untuk mengekstrapolasi cuplikan data ke area yang lebih luas. Penggunaan persamaan allometrik standard yang telah dipublikasikan sering dilakukan, tetapi karena koefisien persamaan allometrik ini bervariasi untuk setiap lokasi dan spesies, penggunaan persamaan standard ini dapat mengakibatkan galat (error) yang signifikan dalam mengestimasi biomassa suatu vegetasi (Heiskanen, 2006; Australian Greenhouse Office, 1999).

a. Sampling dengan pemanenan

Metode ini dilaksanakan dengan memanen seluruh bagian tumbuhan termasuk akarnya, mengeringkannya dan menimbang berat biomasanya. Pengukuran dengan metode ini untuk mengukur biomassa hutan dapat dilakukan dengan mengulang beberapa area cuplikan atau melakukan ekstrapolasi untuk area yang lebih luas dengan menggunakan persamaan alometrik. Meskipun metode ini terhitung akurat untuk menghitung biomassa pada cakupan area kecil, metode ini terhitung mahal dan sangat memakan waktu.

Prosedur umum untuk membuat estimasi berat dari individu masing-masing pohon yang menjadi bagian dalam pemanenan biomassa (*destructive sampling*) adalah sebagai berikut: (Hitchcock and McDonnell, 1979):

- Tebang pohon dan pisahkan material yang ada sesuai dengan komponen dari pohon tersebut.
- Bagi dan timbang setiap komponen bagian-demi bagian.
- Ambil subsample dari masing-masing komponen.
- Tentukan volume dari sub sample dengan metode penenggelaman dalam air atau metode lainnya (optional).
- Keringkan dengan oven dan timbang masing-masing sub sample.
- Tetapkan total berat kering dari masing-masing bagian.
- Terapkan factor kepadatan berat basah dan berat kering untuk setiap komponen.
- Jumlahkan berat masing-masing komponen menjadi berat keseluruhan pohon.

Berat basah keseluruhan pohon dan kompone-komponennya dapat dibagi atau dibedakan dengan cara ini atau melalui cara sampling. Membagi berdasarkan kadar air dan berat kering umumnya memerlukan proses laboratorium.

Metode untuk mengestimasi berat dan volume semak dan vegetasi lain mengandung prinsip yang sama dengan pengukuran untuk pohon. Variabel bebas untuk fungsi

(persamaan) berat kering dalam beberapa kasus dapat pula disamakan seperti tinggi dan densitas vegetasi.

b. Sampling tanpa pemanenan

Metode ini merupakan cara sampling dengan melakukan pengukuran tanpa melakukan pemanenan. Metode ini antara lain dilakukan dengan mengukur tinggi atau diameter pohon dan menggunakan persamaan alometrik untuk mengekstrapolasi biomassa.

c. Pendugaan melalui penginderaan jauh.

Penggunaan teknologi penginderaan jauh umumnya tidak dianjurkan terutama untuk proyek-proyek dengan skala kecil. Kendala yang umumnya adalah karena teknologi ini relatif mahal dan secara teknis membutuhkan keahlian tertentu yang mungkin tidak dimiliki oleh pelaksana proyek. Metode ini juga kurang efektif pada daerah aliran sungai, pedesaan atau wanatani (agroforestry) yang berupa mosaik dari berbagai penggunaan lahan dengan persil berukuran kecil (beberapa ha saja).

Hasil penginderaan jauh dengan resolusi sedang mungkin sangat bermanfaat untuk membagi area proyek menjadi kelas-kelas vegetasi yang relative homogen. Hasil pembagian kelas ini menjadi panduan untuk proses survey dan pengambilan data lapangan. Untuk mendapatkan estimasi biomassa dengan tingkat keakuratan yang baik memerlukan hasil penginderaan jauh dengan resolusi yang tinggi, tetapi hal ini akan menjadi metode alternatif dengan biaya yang besar.

d. Pembuatan model

Model digunakan untuk menghitung estimasi biomassa dengan frekuensi dan intensitas pengamatan insitu atau penginderaan jauh yang terbatas. Umumnya, model empiris ini didasarkan pada jaringan dari sample plot yang diukur berulang, yang mempunyai estimasi biomassa yang sudah menyatu atau melalui persamaan allometrik yang mengkonversi volume menjadi biomassa . (Australian Greenhouse Office, 1999).

2. Estimasi biomassa hutan / pohon

Terdapat dua pendekatan untuk mengestimasi biomassa di atas permukaan dari suatu pohon / hutan. Dua (2) Pendekatan tersebut adalah pendekatan langsung dengan membuat persamaan allometrik dan pendekatan tidak langsung dengan menggunakan “biomass expansion factor” . Meskipun terdapat keuntungan dan kekurangan dari masing-masing pendekatan, tetapi harus diperhatikan bahwa pendekatan tidak langsung didasarkan pada factor yang dikembangkan pada tingkat tegakan dari hutan dengan kanopi yang tertutup (rapat) dan tidak dapat digunakan untuk membuat estimasi dari pohon secara individu (IPCC, 2003).

1. Biomass Expansion Factor (BEF)

Suatu *Expansion factor* akan mengandakan suatu jumlah nominal tertentu (volume atau biomass), yang mencakup 1 atau beberapa bagian pohon ke jumlah nominal lainnya yang mencakup keseluruhan pohon. Dalam hal ini Biomass

Expansion Factor akan menggandakan nilai biomassa batang menjadi biomassa keseluruhan pohon. Harus diingat bahwa *Expansion factor* ini ada yang menggandakan data (1) pada satuan pohon ke data pada satuan pohon, (2) data pada satuan tegakan ke data di satuan tegakan pula dan (3) data dari nilai agregat ke nilai agregat lain (misalnya dari data volume panen secara komersial ke data total biomassa yang hilang).

Secara sederhana BEF didefinisikan sebagai rasio antara Biomassa keseluruhan pohon dengan biomassa batang. Dalam hal ini biomassa batang yang dimaksud kebanyakan mengacu kepada batang komersial (*commercial stem*) atau *merchantable stem*. Brown (1997) memberikan definisi BEF sebagai: ***the ratio of total aboveground oven-dry biomass density of trees with a minimum dbh of 10 cm or more to the oven-dry biomass density of the inventoried volume.*** Dengan demikian biomass expansion factor dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{BEF} = \frac{W_t}{V}$$

Dimana, BEF = Biomass expansion factor (Mg/m³); W_t = total biomassa tegakan (Mg/ha); V= volume tegakan (m³/ha)

BEF merupakan suatu nilai yang tergantung pada ukuran dan umur pohon / tegakan. Untuk itu, penggunaan BEF untuk mengestimasi biomassa sebaiknya menggunakan BEF yang *age-dependent* atau memperhatikan umur tegakan dalam penyusunannya. Penggunaan BEF yang berupa nilai konstan pada sembarang umur tegakan menghasilkan nilai yang bias.

Brown and Lugo (1992), memberikan persamaan untuk menghitung BEF sebagai berikut:

$$\text{BEF} = \text{Exp} [3.213 - 0.506 \times \ln (BV)]$$

Untuk BV < 190 t/ha; 1.74 untuk BV ≥ 190 t/ha; Jumlah sample 56; r₂ = 0.76. BV= biomassa dari volume hasil pendataan (t/ha) yang dihitung dari Volume kayu bulat berkulit / *volume over bark* (m³/ha) dan berat jenis kayu (t/m³)

Dalam beberapa kasus, pendataan potensi hutan batas diameter minimum yang diukur tidak selalu 10 cm. Pada kebanyakan pendataan potensi hutan di hutan di daerah tropic diameter minimum yang diukur biasanya 20 cm atau 25 cm. Brown (1990) mengembangkan persamaan *Volume Expansion Factor* yang dapat dipakai untuk menggabungkan data dengan batas diameter minimum yang berbeda.

Menurut Brown (1990), VEF, didefinisikan sebagai sebagai rasio dari volume terdata untuk keseluruhan pohon dengan minimum diameter 10 cm atau lebih (VOB10) dengan volume terdata untuk seluruh pohon dengan diameter minimum 25-30cm atau lebih (VOB25-30). Apabila ditulis dengan singkat, maka VEF adalah rasio

antara (VOB10) dengan (VOB25-30). Persamaan untuk menghitung VEF dari hasil studi di daerah tropic di Amerika dan Asia adalah sebagai berikut :

$\mathbf{VEF = Exp[1.300 - 0.209 \times \ln(VOB30)]}$ <p>Untuk VOB 30 <250 m³/ha; 1.13 untuk VOB30 > 250m³/ha</p>

2. Persamaan allometrik

Allometri didefinisikan sebagai suatu studi dari suatu hubungan antara pertumbuhan dan ukuran salah satu bagian organisme dengan pertumbuhan atau ukuran dari keseluruhan organisme. Dalam studi biomassa hutan / pohon persamaan allometrik digunakan untuk mengetahui hubungan antara ukuran pohon (diameter atau tinggi) dengan berat (kering) pohon secara keseluruhan.

Persamaan allometrik dinyatakan dengan persamaan umum :

$$Y = a + bX$$

Dalam hal ini, **Y** mewakili ukuran yang diprediksi, **X** adalah bagian yang diukur, **b** = kemiringan atau koefisien regresi dan **a** adalah nilai perpotongan dengan sumbu vertikal (Y).

Untuk mencari nilai a dan b dalam persamaan liner di atas digunakan metode kuadrat terkecil (*least square*). Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$b = \frac{n \left(\sum_{i=1}^n X_i Y_i \right) - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)}{n \left(\sum_{i=1}^n X_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2}$$

$$a = \frac{\left(\sum_{i=1}^n Y_i \right) - b \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)}{n}$$

Tidak semua perbandingan allometrik bersifat linier. Persamaan lain yang sering digunakan adalah persamaan pangkat (*power function*). Bentuk dasar dari persamaan ini adalah

$$Y = a X^b$$

Bentuk dasar ini kemudian ditransformasikan ke bentuk logaritma menjadi

$$\log(Y) = \log(a) + b[\log(X)]$$

Jika diperhatikan, persamaan $\log(Y) = \log(a) + b[\log(X)]$ adalah identik dengan persamaan $Y = a + bX$. Dengan demikian setelah melalui transformasi, untuk mencari nilai **log (a)** dan **b** juga dapat dilakukan dengan menggunakan metode kuadrat terkecil (*least square*).

Selain dua bentuk dasar di atas, persamaan allometrik juga dapat disusun dengan model matematika yang lain. Model matematika tersebut antara lain adalah model persamaan polinomial dan model logistik. Notasi dasar kedua persamaan tersebut adalah sebagai berikut:

- Persamaan polinomial

$$f(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_2 x^2 + a_1 x + a_0$$

- Persamaan model logistik

$$f(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

3. Menyusun persamaan allometrik

A. Prosedur sampling lapangan

Untuk dapat menyusun sebuah persamaan allometrik, terlebih dahulu kita harus mendapatkan pasangan data yang akan dianalisis. Pada hakekatnya, hampir tidak mungkin untuk dapat mengukur keseluruhan biomassa. Pengukuran hingga mendekati seluruh berat basah dari komponen biomassa masih mungkin dilakukan, tetapi pengeringan keseluruhan tanpa membaginya menjadi sub-sub sample nyaris mustahil dilakukan. Untuk itu, pengambilan cuplikan (sample) dan sub sample harus dilakukan dengan cermat.

Dalam melakukan pengambilan sample untuk membuat persamaan allometrik pemilihan pohon yang akan ditebang harus diseleksi dengan baik dan hati-hati. Pemilihan pohon sample pada hutan yang multispecies, merupakan sebuah tantangan dalam desain pengambilan sample, dalam hal ini direkomendasikan untuk mendapatkan arahan dari ahli biometri kehutanan. Sebagai acuan umum, pohon yang dipilih untuk ditebang harus berasal dari populasi utama, mewakili species utama dari hutan tersebut dan mewakili keseluruhan kelas diameter. Harap diperhatikan bahwa kelas diameter yang besar harus cukup terwakili meskipun akan lebih banyak memakan waktu karena ukurannya yang besar tersebut. Jika sumberdaya terbatas, direkomendasikan untuk memilih sepasang pohon yang mewakili kelas diameter besar, sedang dan kecil dan selanjutnya diukur biomasanya. Hasil pengukuran ini dibandingkan dengan hasil dari estimasi melalui

persamaan yang dibuat. Jika hasilnya ada di dalam limit yang dapat diterima, sampling lebih lanjut tidak diperlukan. Sebaliknya jika hasilnya tidak masuk dalam limit yang dapat diterima, sampling dan pengukuran biomassa harus dilanjutkan untuk dapat memperoleh / menyusun persamaan pendugaan biomasa (Brown, 1997).

Dalam melakukan pengambilan sample, setiap pohon yang akan diambil sebagai sample ditebang dan digali akarnya. Kemudian dari masing-masing pohon sample dipisahkan menurut komponen-komponen biomassa yaitu: akar, batang, cabang dan ranting, daun, bunga dan buah. Masing-masing komponen dibagi menjadi sub-sub sample dan masing sub sample diambil sebagian untuk dijadikan sample berat kering (dikeringkan). Brown (1997) memberikan beberapa saran dalam pengambilan sample untuk penyusunan persamaan allometrik sebagai berikut :

- Seperti pada pengukuran volume, diameter setinggi dada (DBH) atau diameter di atas banir terlebih dahulu harus diukur. Dalam kasus pohon berbatang banyak, seperti yang umum terdapat di hutan terbuka atau kering maka diameter pada ketinggian 0.3 m di atas permukaan tanah diukur sebagai ganti DBH dan pengukuran tinggi juga direkomendasikan.
- Setelah pohon ditebang sedekat mungkin dengan permukaan tanah, kemudian dibagi menurut bagian-bagiannya antara lain batang utama, cabang dalam berbagai kelas, daun dan ranting dan buah.
- Cabang kecil (diameter pangkal < 10 cm), daun dan ranting dan buah ditimbang dalam keadaan segar di lapangan. Beberapa sub sample (paling sedikit 5) dari masing-masing komponen harus diambil dan berat basahnya diukur. Selanjutnya, subsample dikeringkan sampai berat konstan pada 105 °C. Penimbangan subsample harus dilakukan sesegera mungkin setelah keluar dari oven karena jika terlalu lama dapat menyerap kelembaban dan menambah beratnya. Untuk masing-masing sub sample, rasio berat basah dan berat kering dihitung dan selanjutnya rata-rata rasio juga dihitung. Perkalian dari total berat basah dari masing-masing komponen, dengan rasio berat basah dan berat kering dari komponen tersebut akan menghasilkan estimasi berat kering dari komponen tersebut.
- Untuk cabang besar (> 10 cm) dan batang utama, secara umum tidak praktis untuk menimbang berat basahnya di lapangan. Untuk itu, bagian tersebut dipotong menjadi beberapa bagian dan volume dari masing-masing bagian dihitung. Berat kering dari bagian ini ditentukan atau dihitung sebagai hasil dari volume dan kepadatan (berat kering per satuan berat basah). Untuk membuat estimasi kepadatan, satu potongan dari masing-masing bagian dapat diambil. Volume dari potongan dapat dihitung dengan menghitung luas permukaan potongan dikalikan ketebalan potongan. (diukur dari 4 titik yang saling tegak lurus) atau dengan metode pemindahan air (*water-displacement*). Metode ini didasarkan pada prinsip bahwa obyek yang tenggelam menggantikan volume airnya sendiri. Caranya, potongan dimasukkan secara hati-hati ke dalam wadah berisi air (didorong dengan sesuatu yang berujung tajam) dan penambahan ketinggian air ketika potongan sudah benar-benar tenggelam digunakan untuk mengukur penambahan volume. Untuk meningkatkan keakuratan, wadah penampung air dibuat penuh sekali, dan ketika potongan kayu ditenggelamkan, air yang tertumpah ditampung dalam

wadah yang telah diketahui beratnya. Berat air yang tertumpah ditimbang dalam satuan gram dan akan sama dengan volumenya dalam cm^3 sebab 1gr air sama dengan 1cm^3 . Setelah pengukuran volume, potongan kayu dikeringkan dalam oven sampai beratnya konstan dengan suhu 105°C . Berat kering dibagi dengan volume akan menghasilkan kepadatan . selanjutnya berat cabang dan batang dihitung, pastikan pengukuran dinyatakan dengan satuan yang sama (volume dalam cm^3 and berat jenis dalam g/cm^3).

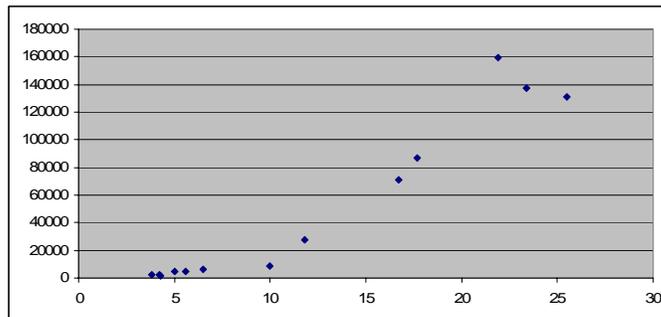
- Jumlah keseluruhan berat kering dari semua komponen pohon umumnya dinyatakan dengan satuan kg.

B. Penyusunan persamaan

Contoh .

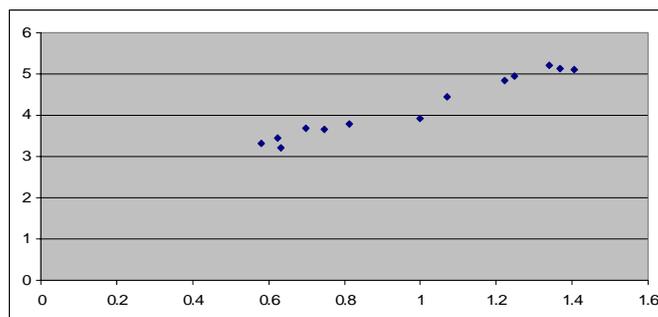
Data

Pohon ke	dbh (cm) x	Berat kering (g) y
1	5	4737
2	23.4	137329
3	11.8	27484
4	16.7	71174
5	4.2	2755
6	5.6	4655
7	3.8	2085
8	10	8557
9	4.3	1593
10	6.5	6132
11	21.9	159522
12	17.7	86525
13	25.5	131157



Langkah 1. Transformasikan ke logaritma

Pohon ke	log x X	log y Y
1	0.69897	3.675503
2	1.369216	5.137762
3	1.071882	4.43908
4	1.222716	4.852321
5	0.623249	3.440122
6	0.748188	3.66792
7	0.579784	3.319106
8	1	3.932322
9	0.633468	3.202216



10	0.812913	3.787602
11	1.340444	5.202821
12	1.247973	4.937142
13	1.40654	5.117791

Catatan:

Jika diperhatikan diagram pencar dari data sebelum dan sesudah transformasi menunjukkan bahwa diagram pencar setelah transformasi lebih mendekati linier dibanding data sebelum transformasi. Sebaiknya untuk menetapkan apakah data perlu ditransformasi atau tidak ditetapkan melalui analisis matematis/ statistik.

Langkah 2. Lengkapi table dengan X^2 dan XY

Pohon ke	$\log x$ X	$\log y$ Y	X^2	XY
1	0.69897	3.675503	0.488559	2.569067
2	1.369216	5.137762	1.874752	7.034706
3	1.071882	4.43908	1.148931	4.75817
4	1.222716	4.852321	1.495036	5.933013
5	0.623249	3.440122	0.38844	2.144053
6	0.748188	3.66792	0.559785	2.744294
7	0.579784	3.319106	0.336149	1.924363
8	1	3.932322	1	3.932322
9	0.633468	3.202216	0.401282	2.028503
10	0.812913	3.787602	0.660828	3.078992
11	1.340444	5.202821	1.79679	6.97409
12	1.247973	4.937142	1.557437	6.161421
13	1.40654	5.117791	1.978355	7.198379

Langkah 3. Hitung ΣX ΣY ΣX^2 ΣXY dan $(\Sigma X)^2$

$$\Sigma X = 12.75534$$

$$\Sigma Y = 54.71171$$

$$\Sigma X^2 = 13.68635$$

$$\Sigma XY = 56.48137$$

$$(\Sigma X)^2 = 162.6988$$

Langkah 4. Hitung nilai konstanta **b** dan **a**

Gunakan metode least square

Rumus :

$$b = \frac{n \left(\sum_{i=1}^n X_i Y_i \right) - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)}{n \left(\sum_{i=1}^n X_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2}$$
$$a = \frac{\left(\sum_{i=1}^n Y_i \right) - b \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)}{n}$$

$$b = \frac{13 (56.48137) - (12.75534)(54.71171)}{13 (13.68635) - 162.6988}$$

$$b = \frac{734.25781 - 697.866463}{177.92255 - 162.6988}$$

$$b = \frac{36.39135}{15.22375}$$

$$b = 2.39043$$

$$a = \frac{54.71171 - (2.39043) \times (12.75534)}{13}$$

$$a = \frac{54.71171 - 30.49075}{13}$$

$$a = \frac{24.22035}{13}$$

$$a = 1.8631$$

Langkah 5. Tuliskan persamaannya

$$\log Y = \log a + (b \log X)$$

$$\log Y = 1.8631 + 2.39043 (\log X)$$

Jika akan ditulis dengan notasi $Y = a X^b$ harus diingat bahwa angka 1.8631 dalam persamaan di atas adalah (**log a**) jadi untuk menjadi **a** yang sebenarnya harus di cari **antilog** dari **a**. Antilog dari 1.8631 adalah 72.963. Maka persamaannya adalah

$$Y = 72.963 X^{2.39043}$$

C. Pengujian atas persamaan allometrik

Dalam analisis regresi, koefisien determinasi adalah ukuran dari *goodness-of-fit* dan mempunyai nilai antara 0 dan 1, apabila nilai mendekati 1 menunjukkan ketepatan yang lebih baik. Sebagai contoh, dengan nilai koefisien determinasi 0.9012 menunjukkan bahwa sekitar 90 % dari variasi dari Y dapat dijelaskan/ diselesaikan dengan hubungan antara X dan Y dalam persamaan tersebut. Disarankan tiga informasi yang berhubungan dengan prosedur regresi diberikan yaitu estimasi parameter, estimasi dari ketidakpastian dalam estimasi, dan ukuran statistik tentang *goodness-of-fit*.

Koefisien determinasi, adalah sebuah besaran yang mengukur ketepatan garis regresi. Nilai R^2 ini menunjukkan prosentase besarnya variabilitas dalam data yang dijelaskan oleh model regresi. Maksimum nilai R^2 adalah 100% dan minimal 0. Jika nilai $R^2=100\%$, misalnya untuk regresi linier sederhana semua titik data akan menempel ke garis regresi, semakin kecil R^2 maka data makin menyebar jauh dari garis. Oleh karena itu jika R^2 kecil maka keeratn hubungan antara X dan Y lemah dan jika $R^2=0$ menunjukkan bahwa X tidak memiliki hubungan dengan Y

Rumus :

$$R^2 = \frac{\sum (Y - \bar{Y})^2 - \sum (Y - f(X))^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2}$$

Untuk contoh data di atas, penghitungan koefisien determinasinya adalah sebagai berikut:

No	X	Y	f (X)	(Y - \bar{Y}) ²	(Y - f (X)) ²
1	0.69897	3.675503385	3.533938867	0.284184409	0.02004051
2	1.36921586	5.137762258	5.136114662	0.863355734	2.7146E-06
3	1.07188201	4.43907994	4.425358907	0.053124285	0.00018827
4	1.22271647	4.852321374	4.785918134	0.414386375	0.00440939
5	0.62324929	3.440121603	3.352933801	0.590548102	0.00760171
6	0.74818803	3.667919685	3.651591105	0.292327502	0.00026662
7	0.5797836	3.319106059	3.249032103	0.791186802	0.00491036
8	1	3.932321532	4.25353	0.076325857	0.10317488
9	0.63346846	3.202215776	3.377362	1.012794874	0.0306762
10	0.81291336	3.787602146	3.806312475	0.177233197	0.00035008
11	1.34044411	5.202820586	5.067337825	0.988488733	0.01835558
12	1.24797327	4.937141608	4.846292735	0.530783251	0.00825352

13	1.40654018	5.117791474	5.225335844	0.826642086	0.01156579
Σ				6.901381208	0.20979562

Jadi :

$$R^2 = \frac{6.901381208 - 0.20979562}{6.901381208}$$

$$R^2 = 6.69158559 / 6.901381208$$

$$R^2 = 0.9696$$

D. Persamaan umum dan persamaan untuk spesies

Penetapan persamaan allometrik yang akan dipakai dalam pendugaan biomassa merupakan tahapan penting proses pendugaan biomassa. Setiap persamaan allometrik dikembangkan berdasarkan kondisi tegakan dan variasi jenis tertentu yang berbeda satu dengan yang lain. Dengan demikian pemakaian suatu persamaan yang dikembangkan di suatu lokasi tertentu, belum tentu cocok apabila diterapkan di daerah lain. Sebagai contoh, persamaan-persamaan yang dikembangkan di daerah beriklim sedang (*temperate*) yang komposisi vegetasinya cenderung homogen, akan kurang tepat apabila diterapkan di daerah tropika yang variasi spesiesnya tinggi, persamaan yang dikembangkan di daerah lembab/basah juga tidak cocok bila diterapkan di daerah kering atau sebaliknya.

Penggunaan persamaan allometrik yang spesies spesifik baik dan bahkan mutlak diterapkan pada pendugaan biomassa pada hutan tanaman yang umumnya monokultur. Komunitas atau ekosistem dengan variasi species yang terbatas atau sangat didominasi oleh species tertentu seperti mangrove juga baik apabila menggunakan persamaan yang species specific.

Di lain pihak melakukan sampling dengan jumlah pohon yang dapat mewakili ukuran dan distribusi spesies dalam suatu hutan untuk menyusun persamaan lokal dengan presisi tinggi terutama pada hutan dengan keragaman spesies tinggi sangat memakan biaya dan waktu. Keuntungan menggunakan persamaan umum yang distratifikasi misalnya berdasarkan zona ekologi atau kelompok spesies adalah kecenderungan bahwa persamaan tersebut disusun dengan jumlah sample pohon yang banyak dan dengan rentang diameter yang besar, hal ini akan meningkatkan presisi dari persamaan. Sangat penting untuk mendapatkan basisdata untuk menyusun persamaan yang mencakup pohon-pohon dengan diameter besar terutama pada hutan yang tumbuh sempurna (mature) karena proporsi terbesar biomassa terkandung pada pohon dengan diameter besar; Sekitar 30 hingga 40% biomassa atas permukaan ditemukan pada pohon pada diameter >70 cm (Brown and Lugo, 1992; Brown et al., 1997). Kekurangan penggunaan persamaan umum ini adalah tidak secara akurat menggambarkan biomassa sesungguhnya dari hutan yang digunakan sebagai proyek. Dalam kebanyakan kasus beberapa sample pohon dengan diameter yang lebih besar sebaiknya dipanen untuk menguji validitas persamaan umum yang dipilih (Brown 2002).

Persamaan yang bersifat umum yang sering dipakai untuk studi biomassa adalah persamaan yang disusun oleh Brown (1997). Persamaan tersebut dikembangkan dari data 371 pohon dari 3 daerah tropic dengan rentang diameter antara 5 – 148 cm yang dikumpulkan dari berbagai sumber.

Persamaan regresi untuk estimasi biomassa tumbuhan tropik. Y = biomassa per pohon (Kg); D = DBH (cm); BA = basal area (cm²). Ref: Brown, (1997).

Zona Iklim	Persamaan	Kisaran DBH (cm)	Jumlah sampel pohon	r ²
Kering	$Y = \exp[-1.996 + 2.32 * \ln(D)]$	5 - 40	28	0.89
	$Y = 10^{[-0.535 + \log_{10}(BA)]}$	3 - 30	191	0.94
Lembab	$Y = 42.69 - 12.800(D) + 1.242 (D^2)$	5 - 148	170	0.84
	$Y = \exp[-2.134 + 2.530 * \ln(D)]$			0.97
Basah	$Y = 21.297 - 6.953(D) + 0.740 (D^2)$	4 - 112	169	0.92

Persamaan tidak dapat dipakai untuk estimasi biomassa pohon yang mempunyai diameter jauh diluar kisaran data aslinya.

Persamaan tersebut diperuntukkan untuk 3 zone iklim yang berbeda, yaitu kering, lembab dan basah. Suatu tempat dikatakan masuk dalam zona kering apabila curah hujan lebih rendah dibandingkan dengan potensial evapotranspirasi (misalnya curah hujan <1500 mm/th dan periode kering selama beberapa bulan). Zona lembab adalah zona yang curah hujannya mendekati seimbang dengan potensial evapotranspirasi (misalnya curah hujan antara 1500-4000 mm/th dengan tanpa periode kering atau periode kering sangat pendek). Zona basah mempunyai curah hujan yang lebih besar dari potensial evapotranspirasi (misalnya >4000 mm/th dan tanpa periode kering). Jumlah curah hujan ini hanya merupakan acuan dan umumnya diterapkan untuk dataran rendah saja. Sejalan dengan naiknya elevasi (ketinggian tempat), temperature akan menurun dan sebagai akibatnya potensial evapotranspirasi juga menurun, dan zona klimatik akan lebih basah pada curah hujan yang sama. Sebagai contoh, curah hujan tahunan 1200 mm/th di dataran rendah akan masuk di zona kering, tetapi pada ketinggian 2500 m dpl, curah hujan yang sama akan masuk ke dalam zona basah. Dengan demikian perlu kehati-hatian untuk memilih persamaan-persamaan di atas (Brown, 1997).

Berbagai persamaan lainnya sebagai berikut:

a. Persamaan allometrik untuk hutan tropika lembab.

No	Persamaan allometrik	α	β_1	β_2	β_3	R^2	Kisaran DBH (cm)
1	$AGB = \exp(\alpha + \beta_1 \ln(DBH) + \beta_2 (\ln(DBH))^2 - \beta_3 (\ln(DBH))^3)$	-0.37	0.333	0.933	-0.122	0.973	5-130
2	$AGB = \exp(\alpha + \beta_1 \ln(DBase))$	-6.80067	3.77738	-	-	-0.915	12.5-27.9*
3	$AGB = \alpha + \beta_1 (DBH) + \beta_2 (DBH)^2$	21.297	-6.953	0.740	-	0.910	4-116
4**	$AGB = \rho X \exp(\alpha + \beta_1 \ln(DBH) + \beta_2 \ln(DBH) - \beta_3 \ln(DBH)^3)$	-1.499	2.1481	0.207	-0.0281	0.996	5-156
5	$AGB = \exp(\alpha + \beta_1 (\ln(DBH)^2 \times H))$	-3.282	0.95	-	-	0.947	2.5-57
6*	$AGB = \rho X \exp(\alpha + \ln(\rho \times DBH^2 \times H))$	-2.977	-	-	-	0.989	5-156

1. Chambers et al. (2001); 2. Burger (2005); 3. Tiepolo et al. (2002); 4. Chave et al. (2005)a; 5. Scatena et al. (1993)
 6. Chave et al. (2005)b. DBH = Diameter setinggi dada (cm). α dan β adalah koefisien persamaan. H = tinggi total (m)
 ρ berat jenis kayu (gr/cm^3). *)Diameter pangkal. Dbase = diameter pangkal. **)Model ini mengacu pada hutan tropika lembab.

b. Persamaan umum untuk pohon pada tingkat pancang (sapling)

$$AGBs = \exp(-3.068 + 0.957 \ln(D^2 \times H))$$

AGBs = biomassa atas permukaan untuk pohon tingkat pancang /sapling (Kg);
 D= diameter (cm); H = tinggi (m)
 (Honzak et al., 1996)

c. Persamaan untuk jenis mangrove *Avicennia alba* (Chukwamdeel and Anunsiriwat, 1997).

Komponen	Persamaan	r^2
Batang	$Ws = 0.079211 (DBH)^{2.470895}$	0.9727
Cabang	$Wb = 0.481575 \times (1.246280)^{DBH}$	0.8041
Daun	$WI = 0.171711 \times (1.96367)^{DBH}$	0.8334

d. **Persamaan untuk spesies mangrove *Kandelia candel*** (Nguyen Thi Kim Cuc dan Ikuo Ninomiya 2007)

Komponen	Persamaan allometrik	r ²	P
Daun	$W_L = 1.73 \times D^{2.16}$	0.92	<0.0001
Batang dan Cabang	$W_{BS} = 10.96 \times D^{2.42}$	0.94	<0.0001
Propagule	$W_P = 14.42 \times D^{0.90}$	0.18	= 0.05
Total	$E_{TT} = 13.33 \times D^{2.41}$	0.94	<0.0001

Persamaan allometrik untuk *Kandelia candel*. W = berat kering (kg); D = Diameter setinggi dada (cm); r² adalah nilai koefisien determinasi.

e. **Persamaan untuk beberapa spesies mangrove** (Clough and K. Scott, 1989).

Spesies	Variabel	A	B	r ²	E
<i>Bruguiera gymnorrhiza</i> n = 17 2 - 24 cm DBH	Daun	- 1.1679	1.4914	0.854	1.57
	Cabang	- 1.5012	2.2789	0.926	1.60
	Batang	- 0.6482	2.1407	0.977	1.29
	Total	- 0.7309	2.3055	0.989	1.19
<i>Bruguiera parviflora</i> n = 16 2 - 21 cm DBH	Daun	- 1.5716	1.407	0.621	2.32
	Cabang	- 1.9403	2.4639	0.885	1.88
	Batang*	- 0.8661	2.4037	0.992	1.18
	Total	- 0.7749	2.4167	0.993	1.17
<i>Ceriop tagal var australis</i> n = 26 2 - 18 cm DBH	Daun	- 1.9300	2.1294	0.927	1.42
	Cabang	- 1.7061	2.5516	0.938	1.47
	Batang	- 0.8333	2.3393	0.977	1.24
	Total	- 0.7247	2.3379	0.989	1.16
<i>Rhizophora apiculata</i> , <i>R. stylosa</i> n = 23 3 - 23 cm DBH	Daun	- 1.8571	2.1072	0.857	1.59
	Cabang	- 1.8953	2.6844	0.912	1.57
	Batang	- 1.0528	2.5621	0.991	1.14
	Akar	- 2.1663	3.1353	0.968	1.32
Total	- 0.9789	2.6848	0.995	1.11	
<i>Xylocarpus granatum</i> n = 15 3 - 17 cm DBH	Daun	- 2.2380	2.3966	0.951	1.39
	Cabang	- 2.2315	3.0975	0.959	1.47
	Batang	- 1.0879	2.4624	0.988	1.18
	Total	- 1.0844	2.5883	0.994	1.13

A dan B adalah konstanta dari persamaan $\log \text{Biomass} = A + B \log \text{DBH}$, r² adalah koefisien determinasi, E adalah standard error dari estimasi biomassa, n merupakan jumlah pohon yang digunakan sebagai sampel dengan kisaran DBH seperti tercantum dalam tabel. Biomassa dinyatakan dalam Kg dan diameter dalam cm.

*) termasuk banir

f. **Persamaan untuk species mangrove *Rhizophora apiculata*** (J. E. Ong , W. K. Gong and C. H. Wong, 2004)

No	Komponen	Persamaan
1	Biomassa atas dan bawah permukaan (total)	$\log Y = 2.523 \log GBH - 1.943$
2	Biomassa atas permukaan (total)	$\log Y = 2.420 \log GBH - 1.832$
3	Biomassa bawah permukaan (total)	$\log Y = 2.6211 \log GBH - 3.454$
4	Biomassa akar tunjang	$\log Y = 2.546 \log GBH - 2.945$
5	Biomassa batang	$\log Y = 2.477 \log GBH - 2.050$
6	Biomassa daun	$\log Y = 0.133 \log GBH - 0.728$

GBH = keliling pohon setinggi dada (cm); Y = biomassa Kg;
Biomassa akar tunjang tidak dipisahkan dari akar yang ada di bawah permukaan. Ref: Ong, Gong & Wong, 2004.

g. **Persamaan untuk beberapa species hutan tanaman** (Banaticla et al.)

Spesies	n	D min	D maks	a	b	SEE	r
<i>Paraserianthes falcataria</i>	20	4.1	36.1	0.049	2.591	19.766	0.991
<i>Gmelina arborea</i>	7	8.0	31.4	0.153	2.217	13.381	0.994
<i>Swietenia macrophylla</i>	5	6.7	26.0	0.022	2.920	17.616	0.993
<i>Leucaena leucocephala</i>	111	4.0	31.8	0.206	2.305	26.468	0.973
Dipterocarpaceae	7	7.3	34	0.031	2.717	24.374	0.992

Bentuk dsar persamaan $Y = aD^b$; n = jumlah sampel; a dan b = konstanta dalam persamaan; SEE= standard error of estimation; r= koefisien korelasi; biomassa dalam Kg; D min diameter (setinggi dada) minimal sampel (cm); Dmaks= diameter maksimal sampel
Ref: Banaticla et al. ACIAR Smallholder Forestry Project.

h. **Persamaan untuk *Pinus merkussii*** (Heriyanto et al., 2005)

$$Y = 0.03292 + (DBH^2 + height)^{0.97318}$$

Y= biomassa (kg); DBH= diameter setinggi dada (cm) $r^2 = 0.99405$; umur tegakan = 5 – 24 th.

i. **Persamaan untuk bambu duri, *Bambusa bamboos* (L) Voss** (Kumar et al., 2005)

No	Persamaan	R ²	n	p
1	Y = - 3225.8 + 1730.4 DBH	0.83	8	<0.001
2	ln Y _i = 4.298 + 2.674 ln DBH	0.82	8	<0.001
3	Y _n = - 12.23 + 37.281 DBH	0.80	106	<0.001

Y = total biomassa per rumpun; DBH diameter setinggi dada dari rumpun (m); Y_i berat kering batang yang hidup (kg); Y_n jumlah batang bambu; R² = koefisien determinasi; n = jumlah sampel. Ref: Kumar, Rajesh & Sudheesh, 2005)

j. **Persamaan untuk jenis Jati (*Tectona grandis*) dan Karet (*Hevea brasiliensis*)**

Spesies	Persamaan	r ²	Kisaran DBH (cm)
<i>Tectona grandis grandis</i> (Jati)	Y = 0.153 x DBH ^{2.382}	0.98	10 - 59
<i>Hevea brasiliensis</i> (karet)	Y = -3.84 + 0.528xBA + 0.001xBA ²	0.99	6 - 20

Y = biomassa atas permukaan (berat kering (KG)/pohon); DBH = diameter setinggi dada (cm); BA = basal area (cm²)

Annex 4A.2. IPCC Good Practice Guidance for LULUCF

k. **Persamaan untuk pohon Mahoni** (Adinugroho dan Sidiyasa, 2006).

Komponen	Persamaan	R ²
Batang	Y = 0.44 D ^{2.61}	0.947
Cabang	Y = 0.00059 D ^{3.46}	0.835
Ranting	Y = 0.0027 D ^{2.42}	0.656
Tunggak	Y = 0.022 D ^{1.96}	0.656
Daun	Y = 0.0138 D ^{1.93}	0.700
Total atas permukaan	Y = 0.048 D ^{2.68}	0.958

Jumlah phon contoh 30; biomassa (kg); D= diameter (cm); R² = koefisien determinasi

I. Persamaan umum untuk liana, palem dan paku pohon

No	Persamaan allometrik	α	β_1	β_2	R^2	kisaran DBH (cm) / tinggi (m)
Palem						
1	$AGB = \alpha + \beta_1 \times (H)$	0.3999	7.907	-	0.750	1-33
2	$AGB = \alpha + (\beta_1 (DBH^{0.5}) \times \ln(DBH))$	6.666	12.826	-		
3	$AGB = \exp(((\alpha + \beta_1 \ln(DBH^2)) \times \beta_2) / 10^3)$	5.7236	0.9285	1.05001	0.820	
4	$AGB = \exp(\alpha + \beta_1 \ln(1/DBH)^2 + \beta_2 \ln(H))$	-6.3789	-0.877	2.151	0.890	
Paku pohon						
5	$AGB = \alpha / (1 - \beta_1 \exp(-\beta_2 H))$	-4266348	2792284	0.313677	0.880	
Liana						
6	$AGB = \exp(\alpha + \beta_1 \ln(D))$	7.114	2.276		0.945	0.1 - 13.8 (Db) 0.2 - 48 (H)
7	$AGB = \exp(\alpha + \beta_1 (\ln(D)))$	-1.484	2.657		0.694	1-23
8	$AGB = \exp(\alpha + \beta_1 (\ln(D)))$	0.07	2.17		0.950	1-13.5

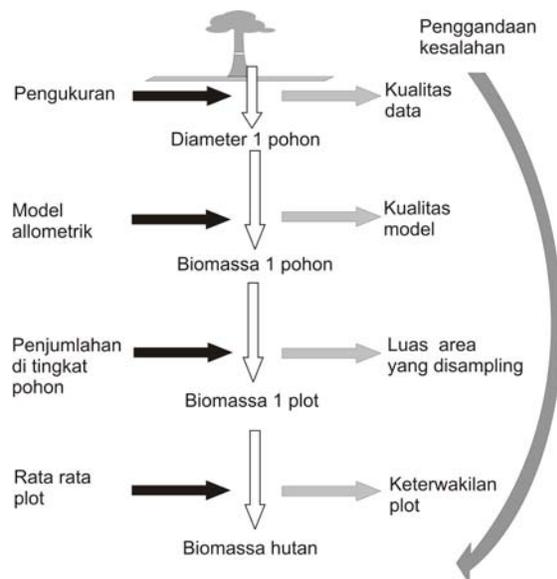
Persamaan allometrik untuk estimasi biomassa atas permukaan (kg berat kering) dari tumbuhan palem, liana dan paku pohon di hutan tropik DBH, D = Diameter (cm); H= tinggi (m) ρ = berat jenis kayu (g cm³). Ref: 1&5 : Tiepolo et al.(2002); 2. Brown et al. (2005); 3: Hughes et al. (1999). 4: Saldarriaga et al. (1988). 6: Gehring et al. (2004). 7: Schnitzer et al. (2006). 8: Gerwing et al. (2000).

III

DESAIN SAMPLING DAN PROSEDUR PELAKSANAAN PENELITIAN BIOMASSA DAN KARBON

Dalam bab ini, penelitian biomassa yang dimaksud adalah penelitian dengan mengutamakan pendekatan *non destructive sampling*. Untuk pengukuran biomassa selain tegakan misalnya pada tumbuhan bawah, karena ukuran sampelnya yang relative kecil dan sumberdaya relative banyak, metode destruktif sampling akan menjadi pilihan yang lebih mudah. Uraian dalam bab ini merupakan prosedur umum dalam penelitian biomassa / karbon. Dalam sebuah kegiatan proyek atau kegiatan yang terkait dengan perdagangan karbon, lembaga yang terkait dengan kegiatan tersebut mungkin telah menetapkan prosedur yang telah ditetapkan dan harus dijalankan.

Dalam setiap tahapan penelitian biomassa, kecermatan dan keakuratan proses penelitian harus menjadi perhatian. Terdapat 5 tahapan atau prose mulai dari pengambilan data lapangan hingga mendapatkan kesimpulan mengenai jumlah biomassa hutan. Setiap tahapan memungkinkan terjadinya kesalahan atau penyimpangan dari nilai sebenarnya. Chave et al. (2004) memberikan ilustrasi kemungkinan penggandaan kesalahan dalam proses penghitungan biomassa hutan seperti tertera pada gambar berikut.



Gambar 2: Kemungkinan penggandaan kesalahan dalam penghitungan biomassa hutan. (digambar ulang dari Chave et al. 2004).

1. Persiapan

Sebelum melakukan pengukuran lapangan, peralatan-peralatan untuk survei biomass perlu dipersiapkan dengan baik. Peralatan yang dipersiapkan meliputi:

- a. Peralatan navigasi dan orientasi.
 - Peta
Antara lain berupa peta (peta rupa bumi atau peta kawasan proyek) dengan skala yang disesuaikan dengan luas proyek. Peta yang dibuat dari hasil interpretasi citra penginderaan jauh dapat dipakai untuk orientasi sebaran plot sesuai dengan strata tegakan.
 - GPS dan kompas
GPS berguna untuk menentukan lokasi terutama pada penentuan plot permanen. Kompas bermanfaat untuk menentukan arah pembuatan jalur atau arah menuju lokasi plot.

- b. Peralatan pengukuran lapangan
 - Pita pengukur panjang untuk mengukur plot dan pita pengukur pendek untuk mengukur diameter pohon. Pita pengukur diameter dapat menggunakan pita ukur biasa atau pita ukur khusus yang disertai skala yang mengkonversi keliling menjadi diameter.
 - Klinometer atau hagameter (jika diperlukan) untuk mengukur tinggi pohon.
 - Timbangan pegas untuk menimbang sampel di lapangan.
 - Tali berwarna untuk membatasi areal plot.
 - Tali berwarna berukuran 50m atau 100 m untuk membuat transek garis.
 - Cat dan patok untuk penanda plot terutama jika akan membuat plot permanen.

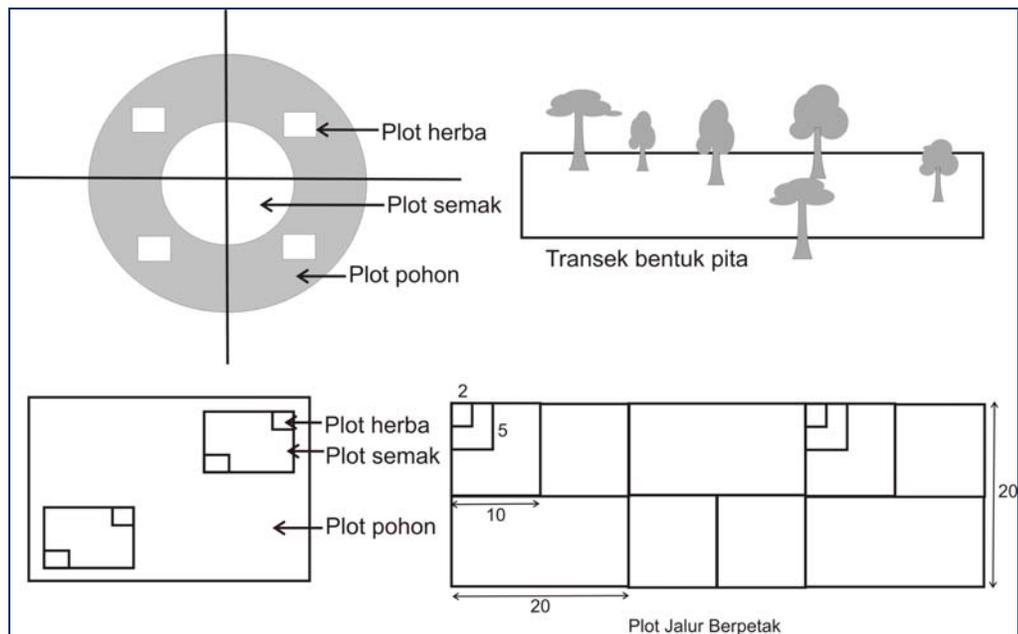
- c. Peralatan pengambilan sampel
 - Plot kuadrat 1m x 1m dari pipa PVC untuk mengambil sampel tumbuhan bawah dan serasah.
 - Gergaji kayu.
 - Cangkul jika diperlukan untuk mengambil sampel akar.
 - Ring sampel jika diperlukan untuk mengambil sampel tanah.
 - Peralatan pembuatan herbarium (untuk identifikasi) meliputi gunting, pengepres, kantong dan zat pengawet sampel secukupnya.

- d. Peralatan penyimpanan sampel
Untuk menyimpan sampel dapat digunakan kantong plastik dalam berbagai ukuran. Selain kantong plastik dapat juga digunakan kantong kain juga dalam berbagai ukuran. Dalam beberapa hal, kantong lebih menguntungkan karena relatif lebih kuat dan merupakan bahan yang bisa “bernapas” sehingga sampel (terutama daun) cenderung layu dan tidak menjadi busuk.

2. Penentuan sampling plot.

A. Bentuk plot

Bentuk plot yang umum dipakai adalah bujur sangkar atau persegi panjang. Bentuk plot lingkaran juga bisa dipilih meskipun cenderung agak sulit untuk membuatnya terutama jika ukurannya besar. Meskipun dalam kajian umum bias menggunakan metode plot garis atau tanpa plot, jika menggunakan metode ini cenderung sulit untuk melakukan pemantauan (*monitoring*).



Gambar 3: Berbagai bentuk plot yang dapat dipakai dalam pengukuran biomassa.

B. Ukuran plot

Ukuran plot dibuat sesuai dengan ukuran rata-rata diameter pohon. Untuk herba ukuran sample umumnya 1 x 1 m. Ukuran yang sama dipakai untuk anakan pohon. Secara garis besar ukuran plot yang disarankan sebagaimana tercantum dalam Pearson and Brown (2004) adalah sebagai berikut :

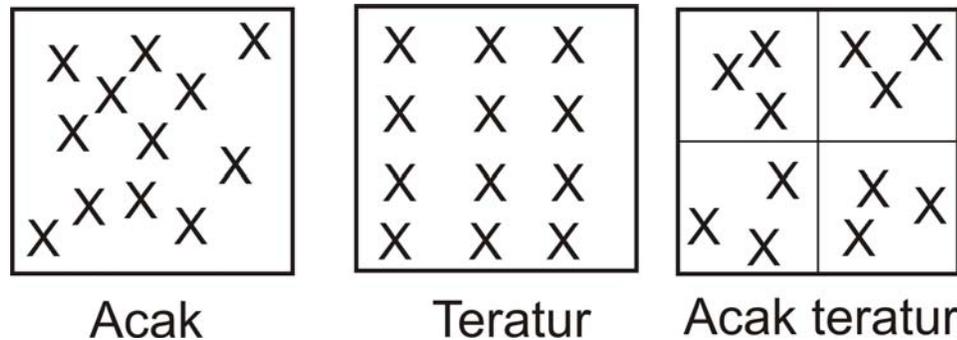
Tabel 2.: Kisaran diameter batang dan ukuran plot yang disarankan.

Diameter batang (dbh)	Radius plot lingkaran	Ukuran plot persegi
< 5 cm	1 m	2 m x 2 m
5 – 20 cm	4 m	7 m x 7 m
20 – 50 cm	14 m	25 m x 25 m
> 50 cm	20 m	35 m x 35 m

Selain dengan rata-rata diameter pohon, ukuran sample plot sangat erat kaitannya jumlah pohon dan perbedaan atau variansi dari cadangan karbon diantara plot-plot tersebut. Intinya, plot harus cukup besar untuk berisi pohon yang akan diukur dalam jumlah yang cukup (IPCC, 2003). Umumnya, panjang dari sisi terpendek dari plot harus lebih panjang dibanding tinggi pohon maksimum yang ada di dalam plot tersebut. Misalnya, jika tinggi maksimum pohon dalam plot 15 m, maka panjang dari sisi terpendek plot harus lebih dari 15 m (Morikawa, 2001).

C. Peletakan plot

Peletakan plot dapat dilakukan secara acak (simple random), secara teratur (systematic) atau secara acak teratur (stratified random). Ilustrasi untuk peletakan plot adalah sebagai berikut:



Gambar 4.: Ilustrasi peletakan plot dalam pengambilan data lapangan

D. Jumlah plot

Jumlah plot dapat ditetapkan dengan memperhatikan estimasi variansi ekologis, presisi yang ditetapkan oleh selang kepercayaan (*confidence level*), dan estimasi galat (*error*). Penentuan jumlah plot juga dapat mempertimbangkan waktu dan biaya kegiatan. Urutan langkah untuk menentukan jumlah plot yang diperlukan adalah sebagai berikut (Pearson and Brown, 2004):

Langkah 1.: Tentukan tingkat presisi yang diinginkan.

Langkah 2.: Cari dan kumpulkan data sekunder tentang biomassa pada wilayah kerja (dari penelitian sebelumnya, instansi pemerintah, universitas) atau dari literatur ilmiah.

Langkah 3.: Jika data sekunder tidak ada, lakukan survei pendahuluan .

Langkah 4.: Estimasi simpanan karbon, deviasi standard dan variansi dari data survei pendahuluan.

Langkah 5.: Hitung jumlah plot yang diperlukan.

MacDicken (1997), memberikan rumus untuk menetapkan jumlah plot yang diperlukan untuk mencapai standard presisi yang ditetapkan sebagai berikut :

$$n = \left(\frac{t}{A} \right)^2 \left(\sum_{h=1}^L W_h S_h \sqrt{C_h} \right) \left(\sum_{h=1}^L W_h S_h / \sqrt{C_h} \right)$$

Dimana:

<p>n = jumlah sample (misalnya jumlah plot yang diperlukan)</p> <p>t = nilai table Student's t</p> <p>h = nomor strata</p> <p>L = jumlah strata</p> <p>Wh = Nh/N</p>	<p>N = total jumlah unit sampel (plot)</p> <p>S = standard deviasi dari strata</p> <p>A = Kesalahan yang diperkenankan dinyatakan dalam unit rata-rata</p> <p>Ch = Biaya pemilihan sample plot pada stratum h</p>
--	---

Alokasi plot sample pada masing-masing strata dihitung sebagai $n_h = n p_h$

$$p_h = \frac{\left(W_h S_h / \sqrt{C_h} \right)}{\left(\sum_{h=1}^L W_h S_h / \sqrt{C_h} \right)}$$

Dimana n_h = jumlah plot pada stratum h

Jika parameter biaya tidak dimasukkan, untuk menentukan jumlah plot minimal dapat menggunakan rumus yang dipakai oleh Pearson dan Brown (2004) sebagai berikut :

$$n = \frac{(N \times s)^2}{\frac{N^2 \times E^2}{t^2} + N \times V}$$

E setengah dari interval kepercayaan yang dikehendaki, dihitung dengan mengalikan rata-rata simpanan karbon dengan presisi yang dikehendaki (misalnya rata-rata simpanan karbon x 0.1 (untuk presisi 10 %) atau 0.2 (untuk presisi 20%). **t** adalah nilai distribusi t untuk tingkat kepercayaan 95 %. Pada tahapan ini biasanya **t** ditetapkan dengan nilai 2 karena ukuran sampel yang belum diketahui. **N** adalah jumlah unit sampling dalam populasi (atau = area proyek atau strata (ha) / luas plot (ha)). **s** adalah standard deviasi dan **V** adalah variansi

Untuk dua strata

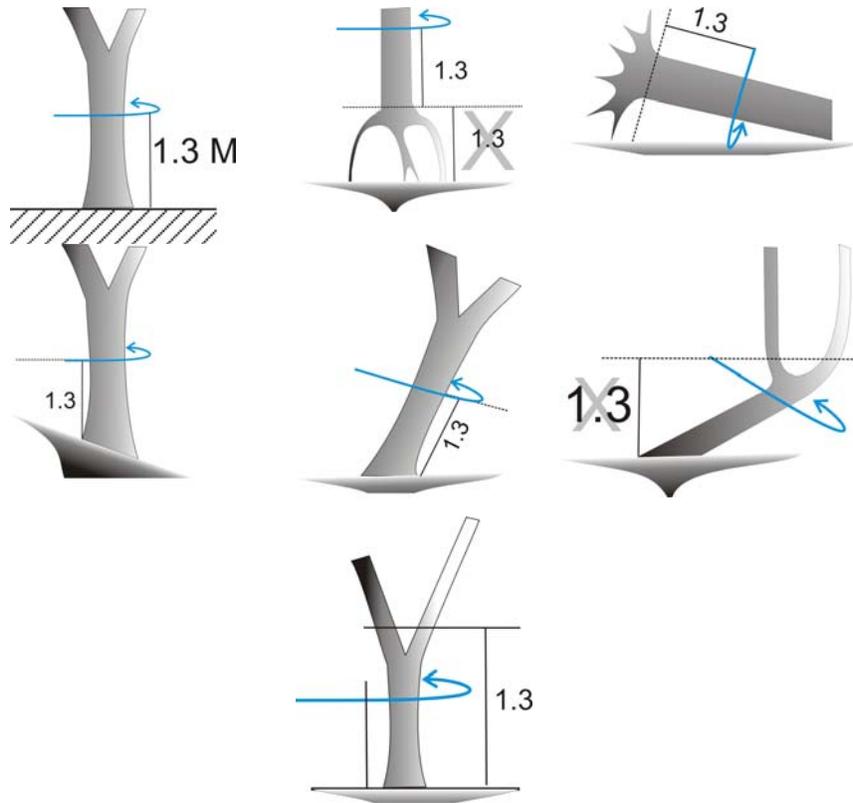
$$n = \frac{(N_1 \times s_1)^2 + (N_2 \times s_2)^2}{\frac{N^2 \times E^2}{t^2} + N_1 \times V_1 + N_2 \times V_2}$$

Untuk q strata

$$n = \frac{(N_1 \times s_1)^2 + \dots + (N_q \times s_q)^2}{N^2 \times E^2 + \frac{N_1 \times V_1 + \dots + N_q \times V_q}{t^2}}$$

3. Biomassa Tegakan

- Pengukuran diameter



Gambar 5.: Berbagai cara melakukan pengukuran keliling pohon setinggi dada (sekitar 1.3 m)

- Pengukuran tinggi pohon

Tinggi pohon kadang-kadang dijadikan parameter penduga dalam estimasi biomassa bersama dengan diameter batang. Pengukuran tinggi pohon cukup mudah apabila dilakukan di area terbuka dengan tegakan yang jarang seperti di daerah savanna atau hutan kering lainnya. Sebaliknya, pengukuran tinggi

pohon sulit dilakukan pada hutan dengan tegakan rapat. Pengukuran tinggi pohon dapat dilakukan dengan menggunakan hagameter atau klinometer.

- Pengukuran diameter tajuk

Meskipun jarang digunakan, diameter tajuk kadang digunakan sebagai parameter penduga terutama untuk pohon kecil (*treelets*), anakan pohon atau pohon pada tingkat pancang (pohon muda dengan diameter >5cm dan < 10 cm diameter). Pengukuran diameter tajuk jarang dilakukan pada tegakan dengan kanopi rapat dan tajuk yang cenderung saling tumpang tindih.

4. Biomassa akar

Pengambilan data biomassa akar merupakan bagian yang sulit dan tidak memiliki keakuratan sebaik yang dimiliki komponen vegetasi lainnya. Penggalan seluruh bagian akar hampir mustahil untuk dilakukan, demikian juga pemilahan akar – akar yang halus secara individu tanpa tercampur dengan akar dari pohon lain yang ada di sekitarnya.

Karena sulit untuk mengambil sample, pendekatan yang kerap dipakai adalah dengan menggunakan rasio akar dan batang (*root to shoot ratio*). Pada hakekatnya rasio akar batang ini merupakan *expansion factor* seperti halnya BEF, dalam hal ini rasio akar batang menggandakan data dari satuan tegakan ke satuan tegakan juga. Rasio akar batang merupakan rasio / perbandingan antara biomassa akar dengan biomassa atas permukaan. Persamaan untuk mendapatkan estimasi biomassa akar (*Root biomass density*) antara lain adalah persamaan yang disusun oleh Cairns et al. 1997.

$$RBD = \exp(-1.0587 + 0.8836 \times \ln AGB)$$

RBD= Biomassa akar (Mg/ha), AGB = biomassa atas permukaan (Mg/ha).

5. Komponen vegetasi lainnya

Yang dimaksud dengan komponen vegetasi yang lain adalah tumbuhan bawah dari suatu tegakan hutan atau vegetasi yang tersusun bukan dari jenis-jenis pohon melainkan dari jenis lain misalnya semak dan herba. Pada komunitas hutan sekunder yang sering mempunyai jenis-jenis pohon berukuran kecil dapat diperlakukan sepertihalnya pohon berukuran besar dengan menyesuaikan ukuran plot.

Untuk melakukan sampling herba dan tumbuhan bawah, prosedur dasar yang harus dilakukan adalah sebagai berikut :

Langkah 1 : Letakkan plot berukuran 1 x 1 m di dalam plot untuk pohon.

Langkah 2 : Ambil dan kumpulkan semua tumbuhan yang ada dalam plot.

Langkah 3 : Timbang berat basahya.

Langkah 4 : Ambil sub sample secara komposit dari beberapa plot dan timbang berat basahya.

Langkah 5 : Keringkan sub sample dan timbang berat keringnya.

6. Bahan organik mati

Bahan organik mati mencakup kayu mati yang masih tegak / berdiri, kayu mati yang sudah tumbang, tunggul atau tunggak dan serasah. Kayu mati yang masih berdiri diperlakukan seperti pohon hidup dengan memperhatikan tingkat dekomposisinya. Kayu matitegak diambil sampelnya dengan plot kuadrat sepertihalnya pohon, sedangkan kayu mati yang sudah tumbang dengan diameter > 10 cm diambil sampelnya dengan transek garis. Untuk serasah dan kayu mati dengan diameter < 10 cm dilakukan pengumpulan sample dengan plot kuadrat

Program Forest Inventory Analysis dari Forest Service USDA mempunyai istilah *down woody material* yang secara definisi kurang lebih sama dengan bahan organik mati dengan penambahan semak dan herba hidup dan yang mati, dan serpihan kayu (*slash and pile*). Data *down woody material* ini selain merupakan data analisis untuk menentukan “kesehatan” hutan juga bias dimanfaatkan untuk menghitung karbon (Monleon and Woodall, 2008). Down woody material ini terdiri dari serpih kayu kasar, serpih kayu halus, humus, serasah, sisa potongan /gergajian (jka ada kegiatan pembalakan), semak hidup dan mati, herba hidup dan mati.

A. Kayu mati tegak

Kayu mati tegak, diukur diameternya dan dicatat tingkat dekomposisinya. Tingkat dekomposisi bias dilihat dari cabang dan ranting yang masih tersisa. Empat (4) tingkat dekomposisi tersebut adalah:

- Kayu mati tegak dengan cabang dan ranting, seperti pohon hidup tetapi tidak berdaun.
- Kayu mati dengan cabang besar dan kecil tetapi tanpa ranting.
- Kayu mati hanya dengan cabang besar.
- Kayu mati hanya batang utama,

Jika tersedia persamaan allometrik untuk pohon mati, biomassa dapat dihitung dengan persamaan tersebut. Jika tidak tersedia, perlakuan untuk pohon mati dapat disamakan dengan pohon hidup dengan mengeliminasi komponen yang hilang. Khusus untuk kayu mati dengan hanya meninggalkan cabang utama, apabila kondisinya sudah sangat lapuk dapat diperlakukan seperti kayu mati yang rebah, untuk itu harus dicatat tinggi batang dan diameter pada pangkal batang.

Pearson and Brown (2004), menggunakan langkah-langkah berikut untuk melakukan estimasi biomassa dari pohon mati yang masih tegak.

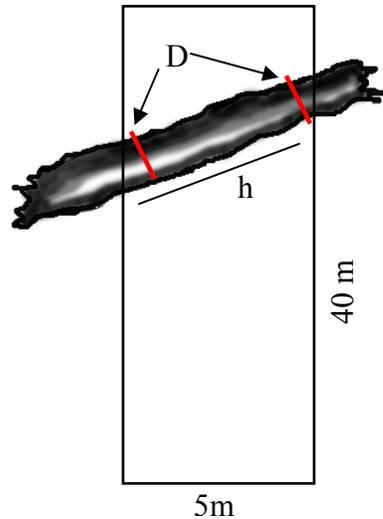
- Langkah 1** : Untuk kelas dekomposisi tingkat 1, 2 dan 3 estimasi biomassa pohon dengan menggunakan persamaan yang sama dengan pohon hidup.
- Langkah 2a** : Untuk kelas satu, kurangi biomassa dengan biomassa daun (sekitar 2% - 3% dari total biomassa atas permukaan untuk pohon berdaun lebar dan 5% - 6% untuk pohon berdaun jarum).
- Langkah 2b** : Untuk kelas dekomposisi 2 dan 3, proporsi bagian pohon yang hilang harus diestimasi. Estimasi cabang dan ranting yang hilang berkisar 15% - 20% dari total biomassa.
- Langkah 2c** : Jika hanya batang yang tersisa (kelas dekomposisi 4), volume pohon dihitung dengan menggunakan DBH dan pengukuran tinggi pohon dan estimasi diameter ujung batang. Volume dihitung dengan menggunakan rumus seperti menghitung volume kerucut yang terpancung. Hasil penghitungan volume dihitung dengan mengkonversi volume dan berat jenis kayu. Untuk mengetahui berat jenis kayu dapat dilakukan pengambilan sample.

B. Kayu mati tumbang / rebah

Untuk menghitung biomassa dari kayu mati dapat menggunakan metode seperti dijelaskan oleh Hairiah et al. (2001). Caranya adalah dengan menggunakan plot yang berbentuk persegi panjang dengan 5 m x 40 m. Semua kayu mati yang ada di dalam plot dengan diameter > 5 cm dan panjang minimal 0.5 meter diukur diameternya. Jika ada sebagian kayu berada di luar plot, panjang kayu yang diukur adalah yang berada di dalam plot. Prinsip pengukuran digambarkan pada gambar xx. Selain dilakukan pengukuran diameter juga dicatat tingkat pembusukan. Untuk masing-masing tingkat pembusukan diambil sampel untuk mengetahui berat jenisnya. Biomassa dihitung dengan rumus :

$$B = \pi * D^2 * h * s / 40$$

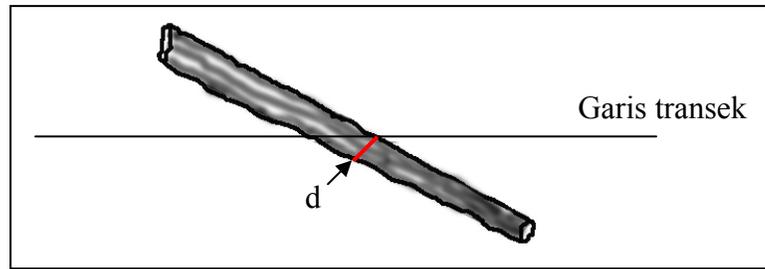
B = Biomassa (kg); **h** panjang kayu (m); D = diameter kayu (cm); s = berat jenis (g/cm³) dan nilai 40 adalah konstanta.



Gambar 6.: Cara mengukur diameter untuk menghitung biomassa kayu mati tumbang dengan pendekatan plot persegi panjang.

Alternatif kedua untuk menghitung biomassa kayu mati rebah adalah dengan menggunakan metode line transek (Van Wagner, 1968). Langkah-langkah pengukuran lapangannya adalah sebagai berikut:

- Langkah 1 :** Letakkan dua garis sepanjang 50 m dalam satu garis lurus atau menyudut.
- Langkah 2 :** Ukur diameter dari kayu-kayu yang berukuran $> 10\text{cm}$ yang memotong garis
 - Ukur apabila garis sampling memotong setidaknya 50 % dari diameter.
 - Jika kayu berongga di tengah, ukur juga diameter rongganya untuk mengurangi volume lobangnya.
- Langkah 3 :** Kategorikan masing-masing potongan kayu mati kedalam kelas-kelas kepadatan (setidaknya 3 kelas).
- Langkah 4 :** Kumpulkan contoh kayu mati yang dianggap mewakili dari masing-masing kelas kepadatan.
- Langkah 5 :** Potong dengan gergaji satu lingkaran penuh dari kayu mati yang telah dipilih dan ukur rata-rata diameter dan ketebalannya untuk mengestimasi volume.
- Langkah 6:** Keringkan potongan-potongan contoh kayu mati untuk menentukan berat keringnya.



Gambar 7.: Prinsip pengukuran diameter kayu mati tumbang pada metode transek garis.

Untuk analisis data dari sampling kayu mati rebah dijalankan langkah-langkah sebagai berikut (Pearson and Brown, 2004):

Langkah 1 : Hitung berat jenis kayu dari masing-masing sample tingkat dekomposisi (setidaknya 3 tingkat yaitu segar, sedang dan busuk) dari sample kayu mati rebah dengan rumus :

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

Langkah 2 : Untuk masing-masing dekomposisi volume dihitung dengan rumus :

$$\text{Volume (m}^3\text{)} = \pi 2 \times \left[\frac{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2}{8 L} \right]$$

d_1^2, d_2^2 = diameter kayu rebah yang berpotongan dengan garis transek
 L = panjang transek

Langkah 3 : Biomassa kayu mati rebah (t/ha) = **volume x berat jenis**

Selain pengukuran dimensi kayu mati, hal penting lainnya yang harus dilakukan adalah menentukan tingkat dekomposisi / pembusukan. Tingkat pembusukan ini akan mempengaruhi kepadatan kayu, sehingga untuk kayu dengan volume sama akan memiliki berat yang berbeda apabila tingkat dekomposisinya berbeda. Woodall & Monleon (2008) memberikan acuan untuk menentukan tingkat pembusukan berdasarkan kenampakannya sebagai berikut :

Tabel 3.: Kelas dekomposisi dari kayu mati tumbang dan ciri-ciri pengenalnya di lapangan.

Kelas Dekomposisi	Struktur	Tekstur Bagian yang membusuk	Warna kayu	Akar yang menginvasi	Cabang dan ranting
1	Segar, baru tumbang, kayu bulat utuh.	Utuh, tidak membusuk	Warna asli	Tidak ada	Cabang ada, ranting masih menyatu dan mempunyai kulit yang kencang
2	segar	Nyaris utuh; lunak atau hamper membusuk tetapi tidak bias dilepaskan dengan tangan	Warna asli	Tidak ada	Cabang ada, beberapa ranting terlepas, yang masih ada mempunyai kulit yang terlepas
3	kayu bagian dalam segar, potongan dapat menahan beratnya sendiri	Keras, potongan berukuran besar, bagian luar kayu dapat dilepas dengan tangan atau tidak ada (terlepas)	Coklat kemer—rahan atau warna asli	Hanya pada kayu bagian luar	Cabang yang ada tidak bias dilepas dengan tangan
4	Bagian dalam kayu membusuk, potongan tidak bisa menahan beratnya sendiri tetapi bias mempertahankan bentuknya	Lunak, potongan kecil, paku logam dapat di tekan dengan tangan hingga bagian tengah kayu	Kemerahan atau coklat muda	Hamper keselu-ruhan	Cabang yang masih ada bias di lepas dengan tangan
5	Tidak ada, potongan tidak lagi dapat mempertahankan bentuknya, tersebar di tanah	Lunak, berupa serbuk ketika kering	Merah coklat sampai coklat tua	Hamper keselu-ruhan	Cabang yang masih ada umumnya sudah membusuk

C. Tunggak / tunggul

Plot untuk tunggak / tunggul umumnya disamakan dengan plot untuk pohon. Artinya, dalam pada plot yang digunakan untuk mengukur biomassa tegakan sekaligus dipakai untuk mengukur biomassa tunggak / tunggul. Untuk tunggak yang bertunas kembali dianggap sama dengan tunggak yang benar-benar mati, hanya dibedakan tingkat pembusukannya. Unggak yang bertunas lagi tidak otomatis dianggap sama dengan tunggak yang masih segar karena etrdapat kemungkinan ada sebagian yang mengalami pembusukan.

Estimasi biomassa tunggak merupakan proses yang sulit dilaksanakan, terlebih-lebih jika menginginkan hasil dengan tingkat keakuratan yang tinggi. Kesulitan melakukan estimasi dapat timbul karena:

- Kesulitan pengambilan sampel.
Sama dengan estimasi biomassa akar, pengambilan sampel dengan melakukan penggalian sangat memakan waktu, tenaga dan biaya. Apabila langkah ini dilakukan, proses pengambilan sampel juga akan menghasilkan kerusakan yang cukup besar dan mungkin tidak akan diijinkan untuk dilakukan di kawasan-kawasan tertentu.

- Mengetahui tingkat pembusukan.
Posisinya yang di bawah tanah, membuat tingkat tidak bisa langsung diperkirakan dengan pengamatan visual, setidaknya perlu dilakukan penggalian. Selain itu faktor keadaan tanah juga akan sangat mempengaruhi selain faktor umur kematian tunggak.
- Sulit untuk menentukan parameter penduga.
Jika akan membuat persamaan allometrik, tunggak hanya menyisakan pangkal batang, yang dapat dijadikan variabel penduga. Pangkal batang juga cenderung lebih tidak beraturan bentuknya dibandingkan dengan bentuk batang di atasnya.

Meskipun masih perlu dilakukan pengujian lapangan atau penelitian yang seksama, pendekatan berikut ini bisa dipertimbangkan :

- Pada pengukuran DBH untuk estimasi biomassa pohon, juga dilakukan pengukuran diameter pangkal batang. Hasilnya digunakan untuk membuat relasi atau persamaan antara diameter pangkal batang dan dbh. Sebaiknya dibedakan antara batang berbanir dan tidak berbanir, tumbuhan berakar tunjang dan sebagainya.
- Cari proporsi antara biomassa batang atau biomassa keseluruhan dengan biomassa akar. Proporsi ini dapat dilakukan dengan pengambilan sampel atau hasil studi pustaka.
- Cari atau hitung perubahan berat secara rata-rata sebagai akibat terjadinya dekomposisi. Faktor ini juga bisa melalui proses sampling lapangan atau studi pustaka.
- Setelah relasi diameter pangkal batang dan dbh diketahui, hitung biomassa pohon. Anggap pohon masih dalam keadaan hidup. Dari proporsi biomassa akar dan biomassa keseluruhan pohon hitung biomassa akar.
- Setelah biomassa akar diketahui, hitung biomassa tunggak dengan memasukkan faktor dekomposisi.

Sekali lagi, pendekatan ini masih perlu diuji dan perlu sampel dengan jumlah yang cukup besar.

D. Serasah

Serasah didefinisikan sebagai bahan organik mati yang berada di atas tanah mineral. Hanya kayu mati yang ukuran diameternya kurang dari 10 cm dikategorikan sebagai serasah. Serasah umumnya diestimasi biomasanya dengan metode pemanenan/pengumpulan. Serasah bias saja dipilahkan lagi menjadi lapisan atas dan bawah. Lapisan atas disebut serasah yang merupakan lapisan di lantai hutan yang terdiri dari guguran daun segar, ranting, serpihan kulit kayu, lumut dan lumut kerak mati, dan bagian-bagian buah dan bunga. Lapisan dibawah serasah disebut dengan humus yang terdiri dari serasah yang sudah terdekomposisi dengan baik.

Langkah-langkah untuk pengambilan sample serasah adalah sebagai berikut:

Langkah 1: Letakkan plot ukuran 1 x 1 m.

- Langkah 2: Kumpulkan serasah yang ada di dalam plot
- Langkah 3: Timbang berat basah serasah.
- Langkah 4: Ambil sub sample yang berupa campuran dan timbang berat basahnya.
- Langkah 5 : Keringkan sub sample, timbang berat keringnya dan hitung berat kering keseluruhan sample.

7. Karbon tanah

Karbon organik tanah cukup besar nilainya, perubahan dalam kantong karbon ini mungkin akan memberikan pengaruh yang besar pada keseluruhan jumlah simpanan carbon, meskipun fluktuasinya tidak besar. Kantong karbon di tanah akan mengalami fluktuasi sejalan dengan pembentukan hutan tanaman /perkebunan dan praktek-praktek yang mengikutinya seperti pemberantasan gulma dan pemangkasan. Oleh karena itu, karbon pool tanah dan perubahannya yang berhubungan dengan pembentukan hutan harus diukur dengan keakuratan yang tinggi pada tingkat regional (Anonymous_1, 2005).

GPG/LULUCF merekomendasikan diterapkannya pengambilan sample gabungan (*composite sampling*) dengan menggunakan 2 – 4 sample pada setiap plot dan kedalaman. Metode ini, mencakup pengambilan sample pada masing-masing kedalaman, mencampurnya dan pengambilan subsample dari hasil campuran dan mencatatnya sebagai satu sample. Composite sampling merupakan cara yang efektif dari segi pembiayaan sebab jumlah sample yang akan dianalisis berkurang. Sesuai dengan GPG/LULUCF, kedalaman untuk sampling soil carbon pool harus dimonitor setidaknya pada kedalaman 30 cm, sebab perubahan karbon tanah akan terjadi atau tampak selama periode proyek. (Anonymous_1, 2005)

Sebagai contoh, untuk mengambil sample simpanan karbon tanah hingga kedalaman 30 cm, dilakukan pengambilan sample tanah untuk setiap horizon tanah (0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm) dengan menggunakan cincin sample (VRING, ml). Empat (4) sample tanah diambil untuk masing-masing horizon. Sample tanah yang diambil dari masing-masing horizon dimasukkan kedalam kantong plastic untuk membuat sample campuran (*composite*).

Untuk keperluan analisis laboratorium, sample composit yang ada dikeringanginkan dan ditimbang, untuk selanjutnya diayak untuk memisahkan sample halus (<2mm) dan butiran kasarnya. Butiran kasar ditimbang untuk mengetahui beratnya dan sample yang halus dikeringanginkan untuk selanjutnya dimasukkan ke dalam plastic tertutup untuk mengetahui factor kelembaban (*moisture factor*). Selain *moisture factor* parameter lain yang harus dianalisis adalah berat jenis (*bulk density*) dan kandungan karbon (*carbon content*).

Penghitungan simpanan karbon untuk masing-masing horizon menggunakan rumus :

$$CSi = \frac{T \cdot BD \cdot C}{1 - MFp}$$

dimana:

- CSi = Simpanan karbon pada horizon i
- T = ketebalan horizon (cm)
- BD = Berat jenis (*Bulk density*)
- C = Kandungan karbon (*Carbon content*)
- MFp = Faktor kelembababan (*Moisture factor*)

Untuk mengetahui total simpanan karbon, maka simpanan karbon masing-masing horizon dijumlahkan.

Daftar Pustaka

- Adinugroho, W. Catur dan K. Sidiyasa, 2006. *Model Pendugaan Biomassa Pohon Mahoni (*Swietenia macrophylla* King) Di Atas Permukaan Tanah*. Jurnal penelitian Hutan dan Konservasi alam Vol III No.1 hal: 103 – 117.
- Anonymous_1, 2005. *Manual on Soil Sampling and Analysis for A/R CDM Projects*. Forestry Research and Development Agency (FORDA) & Japan International Cooperation Agency (JICA) 2005).
- Australian Greenhouse Office. 1999. *National Carbon Accounting System, Methods for Estimating Woody Biomass*. Technical Report No. 3, Commonwealth of Australia..
- Banaticla, Ma. Regina N., Renezita F. Sales and Rodel D. Lasco, *Biomass Equations For tropical Tree Plantation Species Using Secondary Data From The Philippines*. ACIAR Smallholder Forestry Project.
- Brown, Sandra, 1997. *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer*. (FAO Forestry Paper - 134). FAO, Rome.
- Brown S. 1999a. Guidelines for Inventorying and Monitoring Carbon Offsets in Forest-Based Projects. Winrock International, Arlington, VA.
<http://srmwww.gov.bc.ca/tib/carbonmon/guidelines%20for%20inventorying%20%20monitoring%20carbon%20offsets.pdf>. [22 Juni 2002].
- Brown, Sandra. 2002. *Measuring carbon in forests: current status and future challenges*. Environmental Pollution 116 (2002) 363–372.
- Cairns, Michael A., Sandra Brown, Eileen H. Helmer, Greg A. Baumgardner. 1997. *Root biomass allocation in the world's upland forests*. Oecologia (1997) 111:1 -11
- Chave, Jerome, Richard Condit, Salomon Aguilar, Andres Hernandez, Suzanne Lao and Rolando Perez, 2004. *Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates*. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. DOI 10.1098/rstb.2003.1425.
- Chukwamdeel, Jirasak and A. Anunsiriwat, 1997. *Biomass Estimation for *Avicennia alba* at Changwat Samut Songkram*. <http://www.dnp.go.th>
- Clark III, A. 1979. *Suggested procedures for measuring tree biomass and reporting free prediction equations*. Proc. For. Inventory Workshop, SAF-IUFRO. Ft. Collins, Colorado: 615-628
- Clough, B.F. and K. Scott, 1989. *Allometric Relationships for Estimating Above-Ground Biomass in Six Mangrove Species*. Forest Ecology and Management, 27 (1989) 117-127.

- Hairiah, K. SM Sitompul, Meine van Noordwijk and Cheryl Palm, 2001. *Methods for sampling carbon stocks above and below ground*. ASB Lecture note 4B. ICRAF, Bogor, Indonesia.
- Heiskanen, 2006. **BIOMASS ECV REPORT**.
www.fao.org/GTOS/doc/ECVs/T12-biomass-standards-report-v01.doc
- Heriyanto, N.M., Harris Herman Siringoringo, Kiyoshi Miyakuni and Kiyono Yoshiyuki, 2005. *Allometric equations and other parameters for estimating the amount of biomass in Pinus merkusii forests*. Proceeding of the 2nd Workshop on demonstration Study on Carbon Fixing Forest Management in Indonesia. Ngaloken Gintings and Han Roliadi (editors). Forestry Research & Development Agency (FORDA) & Japan International Cooperation Agency (JICA).
- Hitchcock III, H.C. & J.P. McDonnell, 1979. *Biomass measurement: a synthesis of the literature*. Proc. For. Inventory Workshop, SAF-IUFRO. Ft. Collins, Colorado: 544-595.
- Honzák, M.; Lucas, R.M.; do Amaral, I.; Curran, P.J.; Foody, G.M.; Amaral, S. 1996. *Estimation of the leaf area index and total biomass of tropical regenerating forests: a comparison of methodologies*. In: Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.; Victoria, R.C. (Eds). *Amazonian deforestation and climate*. John Wiley & Sons, Chichester, U.K., p.365381.
- IPCC, 2003. *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Intergovernmental Panel on Climate Change National Greenhouse Gas Inventories Programme.
www.ipcc-nggip.iges.or.jp/lulucf/gpplulucf_unedit.html
- Kumar, B.M., G. Rajesh and K.G. Sudheesh, 2005. *Aboveground biomass production and nutrient uptake of thorny bamboo [Bambusa bambos (L.) Voss in the homegardens of Thrissur, Kerala*. Journal of Tropical Agriculture 43 (1-2): 51-56, 2005.
- MacDicken, K.G., 1997. *A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects*. Winrock International, Arlington. VA, USA. 87pp.
- Nguyen Thi Kim Cuc and Ikuo Ninomiya, 2007. *Allometrik relation for young Kandelia candel (L.) Blanco plantation in northern Vietnam*. Journal of biological science 7 (3) : 539 – 543.

- Ong, J. E., W. K. Gong and C. H. Wong, 2004. *Allometry and partitioning of the mangrove, Rhizophora apiculata*. Forest Ecology and Management, Vol 188, Issue 1-3 p: 359 – 408 (abstract)
- Pearson, T., Sandra Brown. 2004. *Exploration of the carbon sequestration potential of classified forests in the republic of Guinea*. Report submitted to the USAID. Winrock International, Arlington, VA, USA.
- Tiepolo, Gilberto, Miguel Calmon, André Rocha Feretti, 2002. **Measuring and Monitoring Carbon Stocks at the Guaraqueçaba Climate Action Project, Paraná, Brazil**. Taiwan Forestry Research Institute. Extension Serie No. 153 (p 98-115). International Symposium on Forest Carbon Sequestration and Monitoring
- Van Wagner, C. E. 1968. *The line intersect Method in forest Fuel Sampling*. Forest Science 14(1):20-26.
- Woodall, Christopher W., V. J. Monleon, 2008. *Sampling protocol, estimation and analysis procedures for down woody materials indicator of the FIA program*. USDA Forest Service.