

# ESTIMASI BIOMASA TAJUK DAN AKAR POHON DALAM SISTEM AGROFORESTRI: ANALISIS CABANG FUNGSIONAL (*FUNCTIONAL BRANCH ANALYSIS, FBA*) UNTUK MEMBUAT PERSAMAAN ALOMETRIK POHON

Meine van Noordwijk, Rachmat Mulia dan Kurniatun Hairiah

## TUJUAN

- Menentukan biomasa batang dan akar pohon dalam sistem agroforestri tanpa melibatkan perusakan lahan (*non-destructive*).
- Mempelajari konsep dasar pengembangan model Analisis Cabang Fungsional.

## 1. Mengapa biomasa pohon perlu diestimasi dan bagaimana caranya?

### Pertanyaan

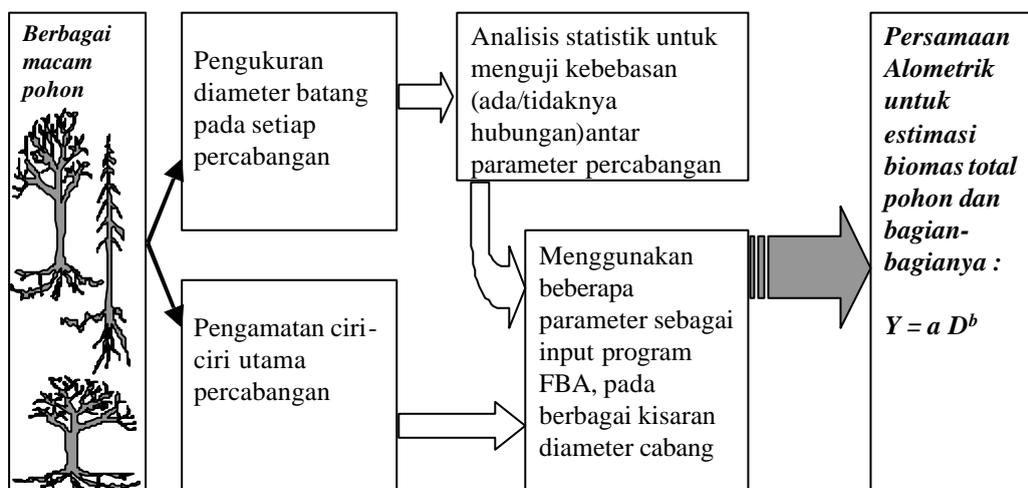
- Pernahkah anda mencoba menetapkan (atau mungkin membaca hasil penelitian) berat biomasa pohon atau akar ?Kira-kira berapa berat per pohon (kg/pohon atau ton/ha).
- Mengapa kita perlu menetapkan berat biomasa pohon/akar
- Bagaimana caranya? Apa masalahnya?

Konversi hutan menjadi lahan pertanian menyebabkan penurunan kesuburan tanah yang ditunjukkan oleh adanya penurunan bahan organik tanah (BOT). Hal tersebut terjadi karena kurang berimbangnya antara masukan dan keluaran karbon (C) dan hara lainnya lewat pengangkutan hasil panen. Menurunnya tingkat kesuburan tanah pada tingkat lokal ini mengakibatkan rendahnya tingkat pertumbuhan tanaman, dan akan memberikan dampak terhadap lingkungan yang lebih luas, misalnya erosi dan emisi gas methana ( $\text{CH}_4$ ),  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  dan sebagainya. Agroforestri merupakan suatu sistem pola tanam berbasis pohon dapat mempertahankan cadangan karbon (*C-stock*) karena adanya akumulasi C yang cukup tinggi dalam biomasa pepohonan. Selain dari pada itu sistem ini dapat mengurangi emisi gas bila dibandingkan dengan sistem pertanian monokultur.

Informasi besarnya biomasa tajuk dan akar pohon sangat diperlukan untuk mempelajari cadangan C dan hara lainnya dalam suatu ekosistem. Berat kering rata-rata biomasa pohon (di atas permukaan tanah) dari berbagai jenis pohon dalam hutan sekunder di Jambi

berkisar antara 13 kg/pohon (diameter 12 cm) sampai 1800 kg/pohon (diameter 24 cm) (Ketterings, 1999). Dengan demikian C yang tersimpan dalam pohon tersebut (yang merupakan cadangan C) berkisar antara 5 – 700 kg C/pohon bila kandungan C tanaman sekitar 40 %.

Penetapan biomasa tanaman tersebut seringkali melibatkan perusakan (destructive) lahan dan membutuhkan biaya dan tenaga banyak, sehingga ketersediaan data biomasa terutama akar sangat terbatas. Guna mengurangi perusakan lahan, estimasi biomasa batang pohon (khususnya untuk kondisi hutan) telah banyak dilakukan yaitu menggunakan persamaan alometrik yang telah dikembangkan oleh Brown (1997) dan peneliti lainnya. Estimasi ini dibuat berdasarkan penggunaan berbagai persamaan aljabar dan beberapa parameter pengukuran secara destructive. Namun demikian, persamaan tersebut hanya berlaku untuk kondisi iklim dan jenis tanaman yang spesifik, sehingga bila digunakan pada kondisi baru hasil estimasinya seringkali 2x lebih tinggi dari pada kondisi sebenarnya di lapangan. Hal tersebut terjadi antara lain disebabkan oleh adanya pola sebaran kanopi dan pola percabangan yang berbeda. Untuk itu pengetahuan dasar pengembangan persamaan alometrik dalam hubungannya dengan bentuk kanopi pohon sangat diperlukan. Analisis Cabang Fungsional (*Functional Branch Analysis, FBA*) telah diperkenalkan oleh Van Noordwijk dan Mulia (2001) merupakan dasar utama yang dipakai untuk mengembangkan persamaan alometrik. Model ini merupakan suatu model yang dibuat berdasarkan observasi pola percabangan pohon, selanjutnya dikembangkan menjadi persamaan-persamaan empiris yang berlaku untuk berbagai jenis pohon di hutan atau bahkan untuk pohon secara individual dalam satu luasan pengambilan contoh (*sampling area*). Langkah langkah pengembangan model ini secara skematis disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Langkah –langkah penyusunan model matematis untuk estimasi biomasa pohon (Van Noordwijk, 1999)

Beberapa parameter penting yang perlu dipahami untuk masukan model adalah bentuk dan susunan percabangan pohon yang selanjutnya disebut nilai **p** dan **q** yang akan dijelaskan nanti (lihat Gambar 5). Penetapan dan validasi model Analisis Cabang Fungsional ini dapat dilakukan dengan jalan mengukur langsung parameter-parameter tersebut di lapangan, dan selanjutnya data yang diperoleh dianalisis secara statistik. Prinsip ini berlaku untuk estimasi biomasa pohon baik bagian atas tanah maupun akarnya.

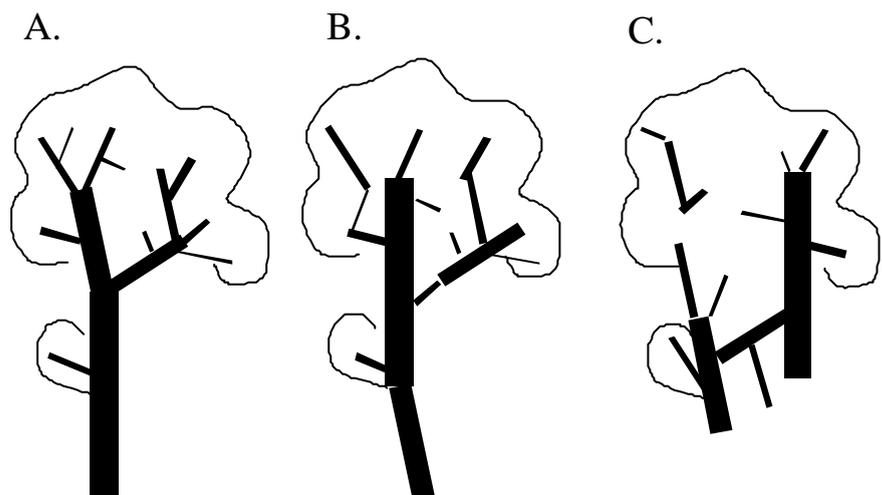
## 2. Konsep dasar model

### Pertanyaan

- Saya yakin anda semua pernah melihat pohon bukan?...tetapi pernahkah anda memperhatikan bentuk kanopinya?
- Apakah anda juga perhatikan susunan cabang besar dan kecil dalam kanopi pohon?
- Apakah anda juga memperhatikan bentuk dan susunan percabangan pohon dan cobalah menyusun suatu aturan yang dapat dipakai sebagai pedoman untuk menentukan bentuk pohon?

Bentuk pengaturan/penyusunan cabang dalam suatu kanopi ini yang akan kita pergunakan dalam 'Analisis Cabang Fungsional' (*Functional Branch Analysis, FBA*). Coba perhatikan gambar 2 di bawah ini dan cobalah kembangkan aturan dasarnya untuk bentuk pohon.

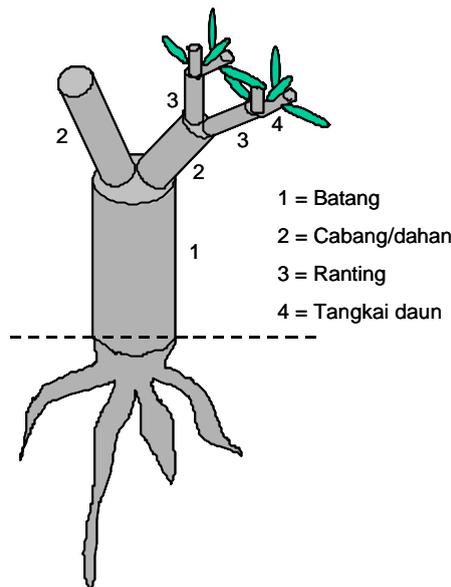
Beberapa aturan tentang pohon bisa dilihat dalam Box 1, aturan-aturan tersebut mungkin bisa dibandingkan dengan aturan-aturan yang anda buat sendiri.



**Gambar 2.** Ketiga gambar skematis ini memiliki jumlah potongan cabang yang sama tetapi susunan dan posisinya berbeda. Dari ketiganya gambar mana yang bisa disebut sebagai pohon dan mana yang bukan pohon? Beri alasannya dan coba lanjutkan untuk menyusun aturannya.

### Box 1. Beberapa aturan yang bisa dipakai sebagai pedoman untuk membedakan 'pohon' dan 'non-pohon'

1. Semua batang dan dahan selalu saling berhubungan, batang pokok harus berhubungan dengan akar dan tanah atau media tumbuh lainnya (kecuali pada kondisi yang ekstrim misalnya hortikultura dengan sistem penyemprotan hara ke akar). Guna menghindari kesimpang siuran dalam memahami istilah yang digunakan maka perhatikan gambar skematis di bawah ini.



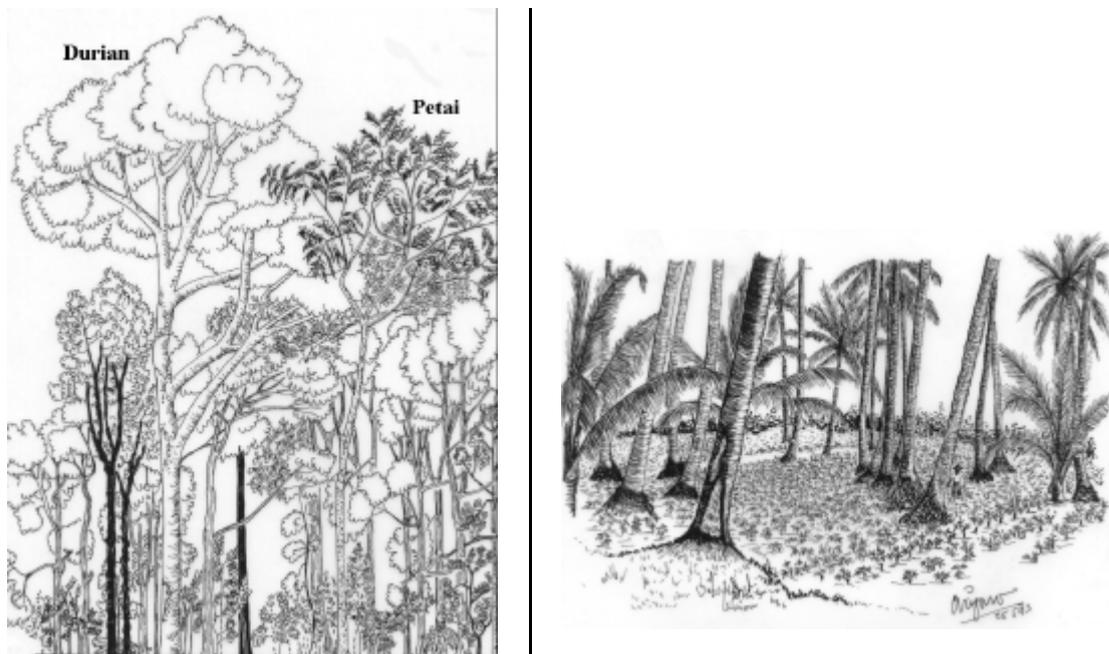
2. Ukuran diameter batang pokok yang berhubungan dengan tanah memiliki ukuran terbesar dari pada diameter cabang atau ranting. Semakin jauh dari batang pokok, biasanya ukuran diameter cabang/dahan semakin kecil.
3. Daun selalu dihubungkan dengan batang pokok melalui ranting dan atau cabang.
4. Secara umum orientasi arah batang pokok dan cabang adalah vertikal, tetapi ranting dapat mempunyai arah yang lebih bervariasi.
5. Umumnya pada titik awal percabangan terdiri dari cabang/ranting yang berdiameter relatif besar yang secara tidak langsung berhubungan dengan tanah (yang berhubungan langsung dengan tanah adalah batang pokok), dan dua buah atau lebih cabang akan berhubungan langsung dan tidak langsung dengan tangkai daun (lihat gambar di atas dan gambar 4).

Kenyataan yang ada di lapangan, percabangan pohon mengikuti sistem pengulangan yang beraturan. Percabangan pohon, baik di atas maupun di bawah permukaan tanah biasanya mengikuti suatu sistem yang logis dan sederhana. Hal ini berhubungan dengan kemampuannya dalam mengangkut air dan hara (fungsi dari xylem) menuju ke bagian di atasnya; di mana dua akar atau lebih menuju suatu titik atau bisa juga dua cabang yang berasal dari satu titik percabangan harus mampu mengangkut sejumlah air dan hara yang sama dengan bagian sebelum dan sesudah percabangan.

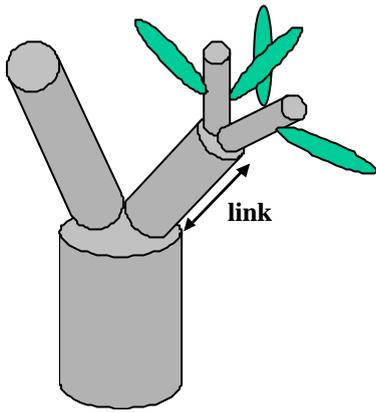
Bila ada pohon yang tidak mengikuti aturan-aturan tersebut di atas maka pohon tersebut tidak akan dapat bertahan hidup lama. Mengapa demikian? Ada dua alasan sederhana, mengapa aturan-aturan di atas dapat dipakai sebagai pedoman:

1. **Stabilitas mekanis:** bagian bawah dari cabang membutuhkan kekuatan untuk menopang berat cabang dan daun, oleh karena itu 'induk' cabang biasanya memiliki ukuran diameter yang lebih besar daripada ranting ('anak'nya) .
2. **Kapasitas pengangkutan air:** Semua helai daun mentranspirasikan sejumlah air, oleh karena itu diperlukan akar untuk menyerap air dan hara dari dalam tanah. Semakin banyak jumlah helai daun per cabang maka semakin banyak jumlah air yang harus diangkut dari dalam tanah, berarti semakin besar diameter cabang yang dibutuhkan.

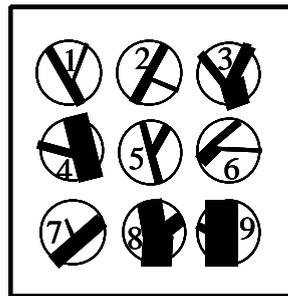
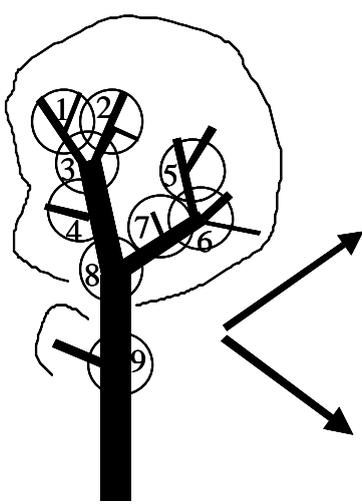
Namun demikian, pada kenyataannya di lapangan kita akan menjumpai banyak sekali variasi bentuk percabangan pohon. Untuk itu kita perlu mempelajari bentuk morfologi percabangan berbagai pohon sehingga kita bisa membedakan antara pohon durian, petai, lamtoro atau kelapa yang tidak pernah bercabang. Coba perhatikan bentuk percabangan durian, petai dan kelapa yang disajikan di Gambar 3.



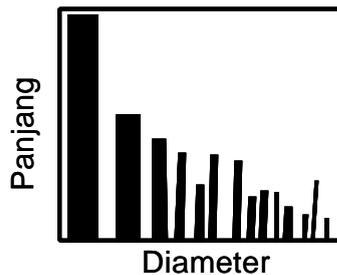
Gambar 3. Contoh percabangan dan kanopi pohon durian dan petai (kiri) dan kelapa yang tidak bercabang (kanan) yang tumbuh di lapangan (Gambar: Wiyono, ICRAF)



Untuk menganalisis bentuk pohon, kita bisa bermain-main terlebih dahulu dengan memisah-misahkannya menjadi beberapa komponen kemudian diuji apakah hasilnya realistis atau tidak sebagai pohon (Gambar 4). Dalam hal ini ada dua aspek utama yang perlu diperhatikan adalah (a) 'perubahan ukuran diameter' yang terjadi pada titik percabangan, (b) hubungan antara diameter dan panjang bagian antara dua titik percabangan (*link*).



Hubungan antara titik percabangan – diameter 'tunas' dengan 'induk' nya

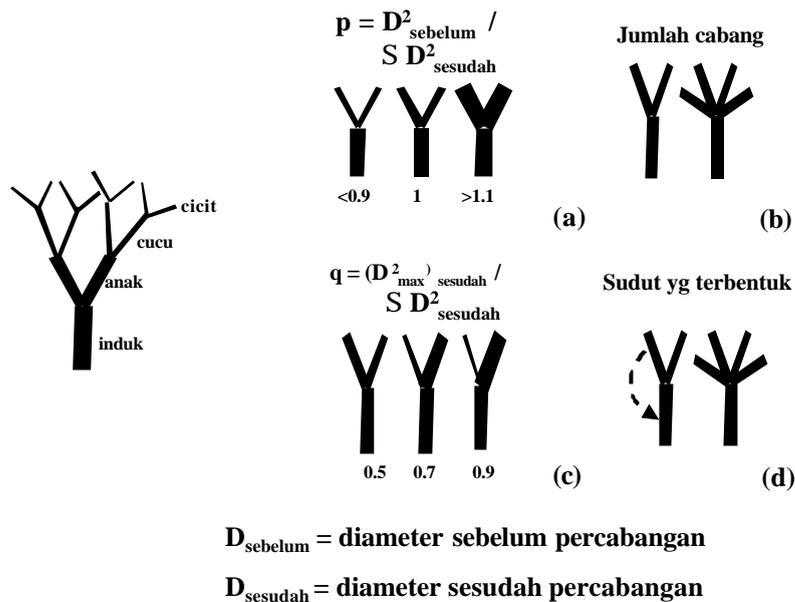


Hubungan antara diameter dan panjang cabang di antara dua titik cabang (*link*). Jika diameter cabang lebih besar maka panjangnya akan lebih besar pula

Gambar 4. Pohon A pada gambar 2 diambil dan semua titik percabangannya dipisah-pisahkan dan diperoleh hubungan antara diameter dan panjang bagian antar titik percabangan (*link*).

Pada umumnya karakteristik percabangan pohon (lihat gambar 5) meliputi,

1. Parameter 'p' yaitu nisbah antara kuadrat diameter cabang 'induk' (sebelum percabangan) dan jumlah kuadrat 'anak' (sesudah percabangan)..Gambar 5a
2. Jumlah 'anak' cabang , Gambar 5b.
3. Alokasi percabangan (q) yaitu nisbah antara kuadrat diameter maksimum dan total kuadrat diameter setelah percabangan, Gambar 5c
4. Sudut yang terbentuk oleh cabang (namun parameter ini tidak dipergunakan sebagai data masukan model WanFBA), Gambar 5d.



Gambar 5. Empat sub aspek dari titik percabangan yang dipergunakan sebagai data masukan dalam model Analisis Cabang Fungsional (FBA).

Parameter-parameter tersebut dibutuhkan sebagai data masukan model WanFBA (*Wanulcas Functional Branches Analysis*) untuk mengestimasi biomasa pohon tanpa perusakan (*non destructive*). Bagaimana cara pendugaan biomasa batang dan akar pohon? Silahkan baca dengan seksama **Petunjuk Program WanFBA** dalam sub bab berikut ini.

### 3. Menduga biomasa tajuk dan akar pohon menggunakan program 'WanFba'

WanFba adalah sebuah program yang dibuat (terutama) untuk menduga biomasa pohon di atas permukaan tanah (selanjutnya disebut biomasa batang saja untuk penyederhanaan) dan dalam tanah (selanjutnya disebut biomasa akar). Biomasa batang termasuk semua batang dan daun-daun, sedangkan biomasa akar termasuk juga biomasa akar-akar halus.

WanFba dibuat dengan asumsi bahwa biomasa batang dan akar dari suatu pohon dapat diduga dengan baik dari diameternya. Hubungan antara diameter dengan biomasa ini diterjemahkan ke dalam suatu fungsi alometrik yaitu: **Biomasa = a\*(diameter)<sup>b</sup>**. Untuk pengukuran biomasa batang, yang dimaksud diameter dalam persamaan alometrik tersebut adalah diameter batang utama pada ketinggian 1.3 m dari permukaan tanah (yang biasa disebut dbh = *diameter at breast height*). Tetapi banyak juga pohon-pohon yang percabangan pertamanya terjadi pada ketinggian kurang dari 1.3 m, untuk itu diameter diukur pada titik tengahnya. Sedangkan untuk biomasa akar, yang dimaksud dengan diameter pada persamaan alometrik di atas adalah diameter dari akar proksimal (*proximal root diameter*). Akar proksimal adalah akar-akar yang merupakan percabangan pertama dari bagian bonggol akar (*base stem*), seperti terlihat pada Gambar 6.

Hasil yang akan didapat dari WanFba bukan hanya sebuah nilai biomasa batang atau akar, tapi juga persamaan alometrik yang dapat dipergunakan untuk menduga biomasa batang atau akar pohon lainnya yang mempunyai pola percabangan serupa dan tumbuh pada tempat yang mempunyai iklim yang sama.

Program ini dibuat dalam aplikasi Excel dan mempunyai 3 *worksheets* yaitu **main**, **input**, dan **sumoutput**, yang secara berurutan menjelaskan informasi singkat tentang WanFba, input-input yang diperlukan untuk menjalankan simulasi dan hasil-hasil yang akan didapat setelah menjalankan simulasi WanFba. Hasil yang terpenting adalah bagian persamaan-persamaan alometrik yang nantinya akan diperlukan oleh program simulasi lain yaitu **TREEPOTGRO** dan **WaNuLCAS**.

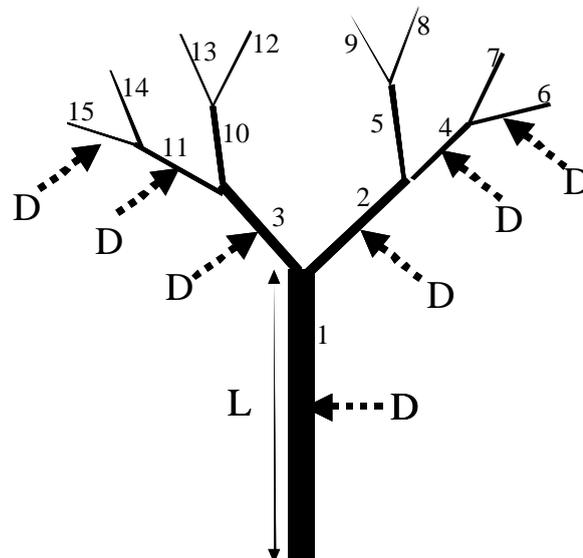
### 3.1 Data yang perlu disiapkan untuk WanFba

Sebelum menjalankan simulasi WanFba, ada beberapa langkah yang harus dilakukan dalam upaya menyediakan data yang baik bagi program ini. Tetapi perlu diingat, jika hanya tertarik pada pendugaan biomasa batang, tentunya pengukuran yang berkaitan dengan akar tidak perlu dilakukan dan sebaliknya.

#### 3.1.1 Pendugaan Biomasa Batang

Langkah-langkah pengambilan data di lapangan yang dianjurkan untuk pendugaan biomasa batang adalah:

- a) Pilih satu pohon dewasa
- b) Ukur diameter dan panjang masing-masing batang (hingga 50-100 batang), banyaknya daun pada batang tersebut, serta catat nomor batang dan nomor asal batang tersebut. Pengukuran diameter dilakukan dua kali dengan arah yang berbeda pada tengah-tengah batang. Hal ini untuk memperhitungkan bentuk batang yang tidak bulat. Catat nomor batang dan asal batang tersebut. Perhatikan gambar L.1., dapat dilihat cara pemberian nomor cabang untuk memudahkan dalam menentukan asal cabang. Biasanya, batang utama diberi nomor 1, lalu batang –batang setelahnya diberi nomor 2, 3, dan seterusnya, sehingga nomor asal batang utama adalah 0 (nol).



Gambar 6. Skematis pengukuran panjang (L) dan diameter batang. Titik pengukuran diameter batang (D) diambil di tengah-tengah ( $\leftarrow$ ), kecuali jika dbh dapat diukur, maka pada batang pertama diambil diameter pada ketinggian 1.3 m

Biasanya, setelah mengukur panjang dan diameter untuk batang 2 dan 3, maka kemudian dipilih batang mana yang akan ditelusuri anak-anaknya, batang 2 atau batang 3? Jika

misalkan dipilih batang 2, maka pengambilan data dilakukan pada anak-anak batang 2 ini, terus ditelusuri sampai tidak bercabang lagi. Jika misalkan setelah menghitung anak-anak dari batang 2 ini jumlah data belum mencapai 50-100 pengukuran, maka dapat mulai mengukur anak-anak batang 3, seperti terlihat pada gambar L.1. tersebut.

**Catatan**

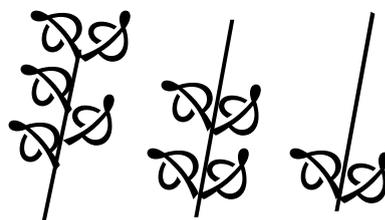
Guna menghindari kesalahan dalam pengukuran batang/ranting yang berbentuk pipih, maka sebaiknya diameter batang/ranting diukur dua kali pada titik pengukuran yang sama tetapi pada arah yang berbeda.

Dengan demikian format data yang diharapkan adalah:

Nomor batang	Batang/ranting:				Asal batang	Jumlah daun
	Panjang batang ,cm	Diameter1, cm	Diameter2, cm			
1	L <sub>1</sub>	D <sub>11</sub>	D <sub>12</sub>	0	JD <sub>1</sub>	
2	L <sub>2</sub>	D <sub>21</sub>	D <sub>22</sub>	1	JD <sub>2</sub>	
3	L <sub>3</sub>	D <sub>31</sub>	D <sub>32</sub>	1	JD <sub>3</sub>	
4	L <sub>4</sub>	D <sub>41</sub>	D <sub>42</sub>	2	JD <sub>4</sub>	
5	L <sub>5</sub>	D <sub>51</sub>	D <sub>52</sub>	2	JD <sub>5</sub>	

dan seterusnya

- c) Ukur berat kering untuk setiap volume kayu, cabang dan ranting. WanFba membedakan bagian berkayu dari pohon menjadi tiga bagian yaitu kayu, cabang dan ranting (tapi dalam teks ini kata 'batang' mewakili ketiganya). Klasifikasi ini berdasarkan besarnya diameter dari batang tersebut. Secara default pada program WanFba, batang yang diameternya **lebih kecil dari 2 cm** disebut **ranting**, antara **2 cm sampai 10 cm** disebut **cabang**, dan **lebih besar dari 10 cm** disebut **kayu**. Klasifikasi yang digunakan pada tahap ini tidak perlu mengikuti aturan default tersebut, tapi dapat ditentukan sendiri dan dapat dispesifikasikan dalam bagian input WanFba (akan dibahas di bawah). Ukurlah berat kering per volume ranting, cabang, dan kayu ini.
- d) Ukur panjang ujung ranting yang tidak ditumbuhi daun (Lbaretip). Pada gambar di bawah terlihat berturut-turut ranting yang terisi penuh daun (Lbaretip=0) dan ranting paling kanan mempunyai nilai Lbaretip yang paling panjang.

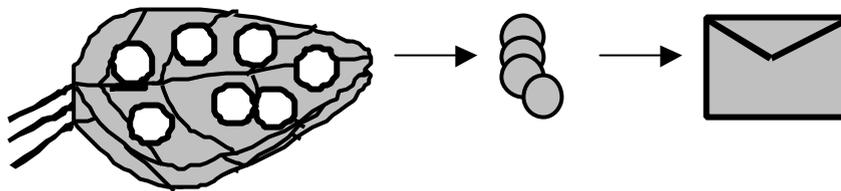


- e) Ukur Luas daun spesifik ( Specific Leaf Area =SLA) dan luas rata-rata satu helai daun yang telah terbuka sempurna. Luas daun spesifik adalah luas daun per satuan berat kering daun. Prosedur pengukurannya dapat di lihat dalam Box 2.

## Box 2. Metode mengukur Luas Daun Spesifik (SLA) dan luas daun rata-rata

- Ambil beberapa helai daun (agak banyak jumlahnya agar pengukuran berat keringnya mudah) yang telah terbuka sempurna (tua) dan catat jumlahnya, misalkan sama dengan **Nt**
- Timbang berat basahya, misalkan sama dengan **BBt**
- Tumpuklah helai daun tersebut dan lubangi menggunakan *leaf punch* (pelubang daun). Bila tidak tersedia *leaf punch*, dapat pula memotong helai daun persegi panjang mengikuti pola yang telah disiapkan (ukuran disesuaikan dengan besarnya helai daun). Hitung jumlah daun-daun berbentuk lingkaran itu, misalkan sama dengan **Ns**
- Hitung luas satu lingkaran daun, yaitu  $\pi r^2$ ,  $\text{cm}^2$ , di mana  $r$  adalah jari-jari *leaf punch*. Misalkan luas lingkaran daun sama dengan **LDs**  $\text{cm}^2$ .

Mekanisma kerja disajikan secara skematis di bawah ini:



- Timbang berat basahya, misalkan sama dengan **BBs**
- Masukkan daun-daun itu ke dalam amplop dan keringkan dalam oven dengan suhu stabil  $70^{\circ}\text{C}$  selama  $2 \times 24$  jam. Kemudian timbang berat keringnya, misalkan sama dengan **BKs** gram
- Luas daun spesifik adalah  $(N_s \times LD_s) / BK_s$  dengan satuan  $\text{cm}^2/\text{gram}$
- Luas rata-rata satu helai daun adalah  $((BB_t / BB_s) \times (N_s \times LD_s)) / N_t$ ,  $\text{cm}^2$

### 3.1.2 Pendugaan Biomasa Akar

Untuk pendugaan biomasa akar, langkah-langkah pengambilan datanya adalah sebagai berikut:

- Pilih satu pohon dewasa, gali tanah di sekitarnya dengan hati-hati sampai akar-akar utama dan percabangan pertamanya nampak dengan jelas. Beberapa foto akar pohon dapat dilihat pada Gambar 7, agar mudah dalam membayangkannya.



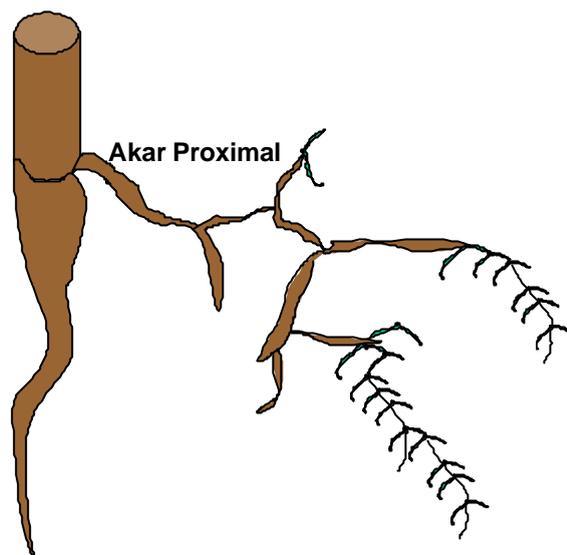
Gambar 8: Penggalan akar proximal pohon nangka (atas), akar proximal nangka (kanan) dan akar proximal pohon *Peltophorum* (Foto atas oleh M. van Noordwijk, tengah dan bawah oleh Pratiknyo Purnomosidhi)

- b) Ukur diameter dan arah akar-akar proksimal itu (horizontal atau vertikal), sehingga menghasilkan tabel sebagai berikut (ketetapan apakah suatu akar digolongkan sebagai horizontal (H) atau vertikal (V) itu biasanya 30 atau 45 derajat. Jadi yang sudutnya lebih besar dari ini, diukur dari bidang horizontal, digolongkan sebagai vertikal):

Nomor proksimal akar	Akar		
	Diameter1, cm	Diameter2, cm	Arah
1	D <sub>11</sub>	D <sub>12</sub>	H atau V
2	D <sub>21</sub>	D <sub>22</sub>	H atau V
.....			
N	D <sub>N1</sub>	D <sub>N2</sub>	H atau V

Dari N akar-akar proksimal itu, pilih satu akar proksimal (yang cukup besar) yang akan ditelusuri dan diukur diameter dan panjang anak-anaknya (Lihat Gambar 8.)

- c) Dari akar proksimal yang terpilih itu, ukur diameter dan panjang akar anak-anaknya (diameter >0.1 cm) hingga 50-100 pengukuran akar, catat nomor akar dan nomor asal akar tersebut (caranya sama dengan yang dilakukan pada bagian tajuk), serta hitung jumlah akar halus pada akar tersebut. Biasanya, akar proksimal diberi nomor 1, lalu akar-akar setelahnya diberi nomor 2, 3, dan seterusnya, sehingga nomor asal akar proksimal adalah 0 (nol).



Gambar 8. Akar proksimal yang dipilih untuk estimasi biomasa akar menggunakan program WanFBA.

Format data yang diharapkan adalah:

Nomor akar	Akar				jumlah akar halus
	Panjang akar, cm	Diameter1, cm	Diameter2, cm	Asal akar	
1	$L_1$	$D_{11}$	$D_{12}$	0	$JA_1$
2	$L_2$	$D_{21}$	$D_{22}$	1	$JA_2$
3	$L_3$	$D_{31}$	$D_{32}$	1	$JA_3$
4	$L_4$	$D_{41}$	$D_{42}$	2	$JA_4$
5	$L_5$	$D_{51}$	$D_{52}$	2	$JA_5$

dan seterusnya

Perhatikan bahwa akar proksimal yang dipilih, kembali diukur panjang dan diameternya, diberi nomor1 dan asalnya adalah 0. Jika dari satu akar proksimal tidak cukup mendapatkan 50-100 data, maka untuk mencukupinya dapat diukur dari akar proksimal yang lain.

- d) *Ukur panjang akar halus per satuan berat keringnya serta panjang rata-rata akar halus. Caranya dapat dilihat dalam Box 3.*

### Box 3. Cara mengukur panjang akar halus

- Ambil contoh akar dengan akar-akar halusnya (akar halusnya agak banyak sehingga mengukur berat keringnya mudah)
- Pisahkan akar halus tersebut dan hitung jumlahnya, misalkan ada B akar halus. Tetapkan pula total panjang seluruh akar halus, misalkan ada T cm
- Masukkan akar halus ke dalam amplop kertas, di masukkan dalam oven dengan suhu stabil  $70^{\circ}$  C selama 2x24 jam, lalu timbang berat keringnya, misalkan sama dengan BK gram.
- Panjang akar halus per satuan berat kering adalah  $T/BK$  dengan satuan cm/gram
- Rata-rata panjang akar halus adalah  $T/B$  cm

e) *Ukur berat kering untuk setiap volume kayu, cabang dan ranting*

Akar juga dibedakan menjadi tiga bagian yaitu kayu, cabang, dan ranting. Secara *default* akar dengan diameter **antara 0.1 sampai 0.5 cm** disebut ranting, yang lebih besar dari **0.5 cm sampai 2 cm** disebut cabang, dan yang **lebih besar dari 2 cm** disebut kayu. Seperti pada bagian atas tanah, klasifikasi ini tidak perlu mengikuti nilai default tersebut, tapi dapat ditentukan sendiri dan dapat dimasukkan dalam input WanFba.

f) *Ukur panjang ujung ranting yang tidak ditumbuhi akar halus.*

Ilustrasi untuk bagian ini sama seperti pada daun (Lihat Gambar 8).

### 3.2 Input WanFba yang diestimasi dari data pengamatan lapangan

Pada dasarnya WanFba memerlukan empat macam informasi yaitu: informasi ukuran pohon, informasi pola percabangan, informasi bagian berkayu dari pohon, dan informasi daun atau akar halus.

Semua informasi ini dapat diestimasi dengan baik dari data pengamatan yang disarankan pada bagian 3.1. di atas. Di bawah ini adalah penjelasan mengenai parameter-parameter input yang diperlukan oleh WanFba (kata yang dicetak miring adalah akronim yang digunakan dalam program WanFba).

a) *Root/Shoot*

Parameter ini menentukan apakah yang akan disimulasi itu biomasa batang atau akar? Nilai 1 untuk batang dan 0 untuk akar.

b) *Dlow/Dmin dan Dhigh/Dmin*

Kedua parameter ini menginformasikan ukuran relatif pohon. *Dlow* dan *Dhigh* adalah diameter batang utama (atau dbh) atau diameter akar proksimal yang terkecil dan terbesar yang akan disimulasikan. *Dmin* adalah besar diameter ranting terakhir yang tidak membentuk cabang lagi. Parameter ini akan digunakan oleh WanFba untuk menghentikan pembentukan percabangan baru dalam simulasi.

c) *Ndstep, LinorLog, Ncal, Randseed, dan Startoutp*

Kelima parameter ini berturut-turut menjelaskan banyaknya data untuk menduga persamaan biomasa, tipe kenaikan nilai diameter batang utama atau akar proksimal (linier atau logaritmik), banyaknya WanFba melakukan iterasi untuk setiap kombinasi parameter, titik awal nilai acak, dan nomor baris dalam *worksheet sumoutput* untuk bagian akar. Nilai untuk kelima parameter ini dapat dibiarkan sesuai dengan *default*-nya.

d) *Nsub, mean\_p, mean\_q, range\_p, range\_q, Lmin, LD\_slope, dan Range\_L*

Parameter-parameter ini berkaitan dengan informasi pola percabangan batang atau akar. *Nsub* adalah rata-rata jumlah percabangan, *Mean\_p* dan *mean\_q* adalah rata-rata dari nilai  $p$  dan  $q$ , di mana  $p$  (biasanya disebut juga  $\alpha$ ) adalah perbandingan kuadrat diameter sebelum percabangan dengan jumlah kuadrat diameter setelah percabangan, sedangkan  $q$  adalah perbandingan kuadrat diameter batang terbesar setelah percabangan dengan jumlah kuadrat diameter setelah percabangan. *Range\_p* dan *range\_q* adalah selisih nilai maksimum dan minimum dari  $p$  dan  $q$  relatif terhadap rata-ratanya. Sedangkan *Lmin* adalah panjang batang atau akar dengan diameter *Dmin* dan *LD\_slope* sama dengan  $1-A/Lmin$  di mana  $A$  adalah panjang batang atau akar ketika diameternya hampir nol. Kemudian, *Range\_L* adalah variasi relatif dari panjang batang atau akar. Karena akan agak sulit jika menduga 8

parameter ini dengan perhitungan biasa, maka sebuah program yang bernama **WanFbaHelpFile.xls** khusus dibuat untuk secara otomatis menduga nilai 8 parameter itu. Format data yang digunakan oleh program ini untuk melakukan tugasnya adalah seperti yang dicontohkan pada bagian 3.1 langkah ke 2 untuk pendugaan biomasa batang dan langkah keempat untuk pendugaan biomasa akar.

e) *DwperVwood, DwperVbranch, DwperVtwig, MaxDiamTwig dan MaxDiamBranch*

Kelima parameter ini cukup untuk menjelaskan informasi bagian berkayu dari pohon. *DwperVwood, DwperVbranch,* dan *DwperVtwig* adalah berat kering untuk setiap volume kayu, cabang dan ranting. Seperti disebutkan di atas, besarnya diameter sehingga suatu batang atau akar dapat digolongkan sebagai kayu, cabang atau ranting dapat ditentukan sendiri. WanFba mencatat informasi itu dalam dua parameter yaitu *MaxDiamTwig* dan *MaxDiamBranch*.

f) *Lbaretip, Dmaxfin/Dmin, Dzerofin/Dmin, Maxfindens, SpecLeafArea, Avgleafarea, Finrootlen dan Specrollfine*

Informasi tentang daun dan akar halus dicakup oleh 8 parameter ini. *Lbaretip* adalah panjang ujung ranting yang tidak ditumbuhi daun atau akar halus, relatif terhadap *Lmin*. *Dmaxfin/Dmin* dan *Dzerofin/Dmin* adalah diameter batang atau akar di mana kepadatan daun atau akar halus maksimum dan hampir mencapai nol, relatif terhadap *Dmin*. *Maxfindens* adalah banyaknya daun atau akar halus per centimeter batang atau akar pada saat kepadatannya masih maksimum. *SpecLeafArea* dan *Avgleafarea* dapat dimengerti dengan mudah. *Finrootlen* dan *Specrollfine* adalah panjang rata-rata akar halus dan panjang akar halus per satuan berat keringnya. Program **WanFbaHelpFile.xls** membantu juga untuk mengestimasi nilai *Dmaxfin/Dmin, Dzerofin/Dmin,* dan *Maxfindens*.

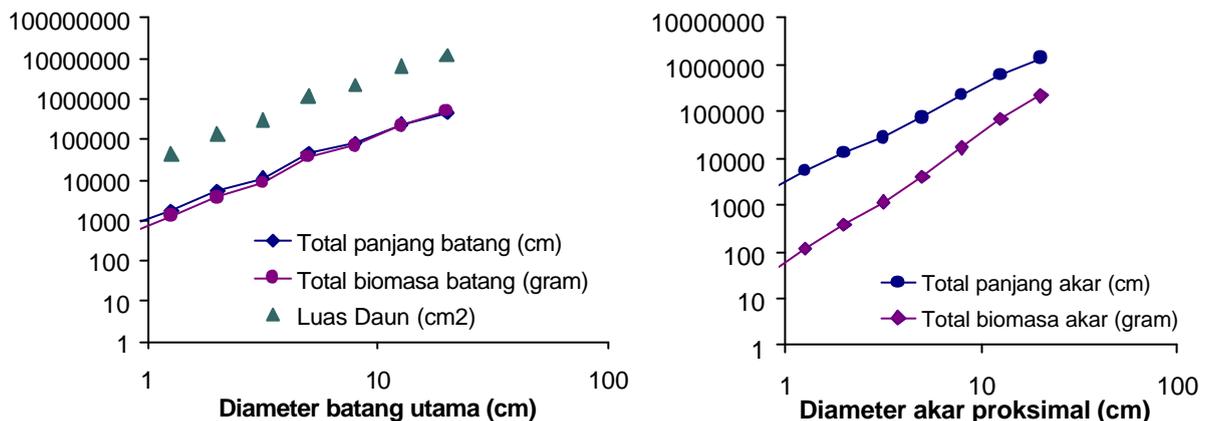
### 3.3 Informasi yang dapat diperoleh dari WanFba

Setelah mempersiapkan semua input, dengan menekan 'ctrl r', WanFba secara otomatis memulai simulasi. Berikut adalah hasil-hasil yang akan didapat setelah menjalankan simulasi WanFba:

- a) *Diam\_0*: Diameter batang utama atau diameter akar proksimal
- b) *ShoN-links* dan *RoN-links*: banyaknya titik percabangan pada batang dan akar
- c) *Tot\_Sholength* dan *Tot\_Rolength*: total panjang batang dan akar
- d) *Tot\_Showeigh*t dan *Tot\_Roweigh*t: total berat kering batang dan akar
- e) *DW\_leaves* dan *DW\_finroot*: total berat kering daun dan akar halus
- f) *DW\_Twig, DW\_Branch* and *DW\_Wood*: total berat kering batang atau akar yang diklasifikasikan sebagai ranting, cabang dan kayu
- g) *Cv\_Nlinks, cv\_length,* and *cv\_weight*: koefisien variasi untuk banyaknya titik percabangan, total panjang batang atau akar, dan total berat batang atau akar
- h) *Leafarea* and *LWR*: total luas daun dan perbandingan berat kering daun dan total berat kering batang
- i) *Leaf/(Leaf+twig)*: perbandingan berat kering daun dengan berat kering ranting + daun
- j) *Avgfinrolength*: total panjang akar halus
- k) *AvgSpecrol*: perbandingan antara total panjang akar dengan total berat kering akar
- l) *AvgRelfinroot*: perbandingan antara panjang akar halus dengan total panjang akar
- m) *T\_BiomDiam1* dan *T\_BiomDiamSlope*: nilai a dan b untuk persamaan  $Tot\_Showeigh = a * (Diameter\ batang\ utama)^b$

- n)  $T\_BranchDiam1$  and  $T\_BranchDiamSlope$ : nilai  $a$  dan  $b$  untuk persamaan  $DW\_Branch = a \cdot (\text{Diameter batang utama})^b$
- o)  $T\_LeafTwigDiam1$  and  $T\_LeafTwigDiamSlope$ : nilai  $a$  dan  $b$  untuk persamaan  $(DW\_leaves + DW\_Twig) = a \cdot (\text{Diameter batang utama})^b$
- p)  $T\_CumLit1$  and  $T\_CumLitSlope$ : nilai  $a$  dan  $b$  untuk persamaan berat kering serasah yaitu  $\text{Berat kering serasah} = a \cdot (\text{Diameter batang utama})^b$
- q)  $Rt\_TLengDiam1$  and  $Rt\_TLengDiamSlope$ : nilai  $a$  dan  $b$  untuk persamaan  $Tot\_Rolength = a \cdot (\text{Diameter akar proksimal})^b$
- r)  $Rt\_TWghtDiam1$  and  $Rt\_TWghtDiamSlope$ : nilai  $a$  dan  $b$  untuk persamaan  $Tot\_Roweight = a \cdot (\text{Diameter akar proksimal})^b$
- s) *Coefficient determination (r<sup>2</sup>), F, se-Yest, df, ssresid, and ssreg*: Nilai koefisien determinasi, F-hitung, galat baku Y duga, derajat bebas, jumlah kuadrat sisaan, dan jumlah kuadrat regresi untuk masing-masing persamaan biomasa yang diduga.

Untuk melengkapi hasil-hasil di atas, WanFba menampilkan dua grafik yang menunjukkan hubungan antara biomasa dan diameter batang utama. Kedua grafik itu dibuat dengan skala logaritmik.



Meskipun satuan dari biomasa seperti yang dilihat pada grafik adalah gram, tetapi nilai  $a$  pada setiap persamaan alometrik biomasa mempunyai satuan kilogram.

#### 4. Penutup

Hasil pada no 13 sampai ke 18 dari WanFba (pada bagian 3.5 di atas) diperlukan oleh program simulasi pohon lain yaitu TREEPOTGRO dan WaNuLCAS. Hal ini dilakukan, jika simulasi pertumbuhan pohon yang dilakukan pada kedua model tersebut menerapkan konsep percabangan fraktal (*fractal branching*).

Perlu yang diperhatikan bahwa persamaan alometrik yang dihasilkan oleh WanFba untuk pendugaan biomasa akar, yaitu  $\text{Biomasa} = a \cdot (\text{diameter akar proksimal})^b$ , bukanlah menduga biomasa total seluruh akar pohon, tetapi menduga biomasa total dari suatu akar proksimal dan akar-akar kecil selanjutnya. Jadi dugaan dari persamaan alometrik tersebut tidak sama dengan biomasa total akar pohon (*total tree below ground biomass*).

Tetapi tentunya mudah mendapatkan nilai biomasa akar pohon dari persamaan alometrik yang disediakan WanFba ini. Misalkan sebuah pohon mempunyai  $N$  akar proksimal (disinilah diperlukan tabel pengamatan akar proksimal seperti yang telah dibuat pada

langkah kedua pendugaan biomasa akar) dengan besar diameter masing-masing  $D_1, D_2, \dots, D_N$ , maka biomasa untuk masing-masing akar proksimal ini dapat diduga dengan persamaan dari WanFba. Dengan menjumlahkan semua hasil dugaan itu, maka dapat diperoleh estimasi total biomasa akar pohon tersebut (selain itu dapat dibandingkan juga untuk akar horizontal atau vertikal).

WanFba sebenarnya merupakan bagian dari program FBA (*Functional Branching Analysis*). Program FBA inilah yang dapat menduga biomasa akar pohon secara langsung dari diameter batang utama (atau dbh), bukan dari pengukuran secara parsial melalui akar-akar proksimal. Tetapi program ini mempunyai perhitungan yang lebih kompleks.

## Bahan Bacaan

### Journal Ilmiah

- Van Noordwijk M, Spek LY and De Willigen P, 1994. Proximal root diameters as predictors of total root system size for fractal branching models. I. Theory. *Plant and Soil* 164: 107-118.
- Spek LY and Van Noordwijk M, 1994. Proximal root diameters as predictors of total root system size for fractal branching models. II. Numerical model. *Plant and Soil* 164: 119-128.
- Van Noordwijk M and Purnomosidhi P, 1995. Root architecture in relation to tree-soil-crop interactions and shoot pruning in agroforestry. *Agroforestry Systems* 30: 161-173.
- Van Noordwijk M and Mulia R, 2001. Functional branch analysis as tool for fractal scaling above- and belowground trees for their additive and non-additive properties (*in press*).
- Ketterings QM, Coe R, Van Noordwijk M, Ambagau Y, 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.

### Laporan Ilmiah

- Brown S, 1997. Estimating biomass change of tropical forest, a primer. FAO Forestry paper 134, FAO, Rome.
- Van Noordwijk M, 1999. Functional Branch Analysis to derive allometric equations of trees. Dalam: Murdyarso D, Van Noordwijk M and Suyanto DA (eds.), *Modelling Global Change Impacts on the Soil Environment*. IC-SEA Report No 6: 77-79.