

**ARSITEKTUR POHON, DISTRIBUSI PERAKARAN, DAN PENDUGAAN  
BIOMASSA POHON DALAM SISTEM AGROFORESTRY  
(Tree Architecture, Root Distribution, and Estimation of Tree Biomass in  
an Agroforestry System)\***

Oleh/By:  
Murniati

Pusat Litbang Hutan dan Konservasi Alam  
Jl. Gunung Batu No. 5 Po Box 165; Telp. 0251-8633234, 7520067; Fax 0251-8638111 Bogor

Diterima : 16 Januari 2009; Disetujui : 4 November 2009

**ABSTRACT**

*The distribution of nutrients, water and light is influenced mainly by the characteristics of the tree species as components in an agroforestry system, particularly crown shape and root distribution. This study aimed to describe tree architecture and roots distribution as well as to estimate biomass of four tree species (mahogany/Swietenia macrophylla King, sungkai/Peronema canescens Jack, candle nut/Aleurites moluccana (L.) Willd., and bread fruit/Artocarpus altilis Fosberg) as components in an agroforestry system established on alang-alang grassland. The architectural characteristics and dynamics of such four tree species were described to determine architectural model of the tree. Tree roots were exposed, observed, and measured to identify their distribution. Branches characteristics and other data were used as input data of the Functional Branching Analysis (FBA) software to estimate the tree biomass. Mahogany and sungkai had crowns architecture and roots distribution apt to support the establishment of an agroforestry system, because they allowed to distribute resources among trees and crops in more balance. Candle nut, however, was more appropriate to reduce alang-alang grass by shading with its wide and dense hemispherical crown. This tree species dominates the root zone by forming many and big lateral and superficial roots which will cause unbalanced resources distribution. Timber and multipurpose tree species had different growth rates and growth rhythms of their above-ground parts. During early establishment, timber tree species had a lower above-ground biomass than multipurpose tree species. Functional Branching Analysis (FBA) software was able to estimate above ground biomass of mahogany and sungkai with an average standard deviation of  $1 \pm 0.34$ . This software should be improved in order to accommodate biomass more precisely in the case of trees with different temperaments and particularly, with early and profuse reiteration.*

*Keywords: Crown shape, index of root shallowness, allometri equation, shoot dry weight, leaf area*

**ABSTRAK**

Distribusi hara, air, dan cahaya dalam suatu sistem *agroforestry* terutama dipengaruhi oleh karakteristik dari jenis pohon sebagai komponennya, khususnya bentuk tajuk dan distribusi perakaran. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari arsitektur pohon dan distribusi perakaran serta menduga biomassa empat jenis pohon (mahoni/*Swietenia macrophylla* King, sungkai/*Peronema canescens* Jack, kemiri/*Aleurites moluccana* (L.) Willd., dan sukun/*Artocarpus altilis* Fosberg) sebagai komponen dalam sistem *agroforestry* yang dikembangkan pada lahan alang-alang. Karakteristik pohon secara arsitektur dan dinamikanya dideskripsikan untuk mengetahui model arsitekturnya. Perakaran pohon diekspose, diamati, dan diukur untuk mengidentifikasi distribusinya. Karakteristik percabangan dan beberapa data lain diukur dan dipersiapkan untuk *input* data dalam perangkat lunak *Functional Branching Analysis* (FBA) untuk menduga biomassa pohon. Mahoni dan sungkai mempunyai bentuk tajuk dan distribusi perakaran yang dapat menunjang pengembangan sistem *agroforestry*, karena memungkinkan distribusi sumberdaya hara, air, dan cahaya yang lebih seimbang. Kemiri lebih cocok untuk menekan pertumbuhan alang-alang melalui naungan tajuknya yang lebar, padat, dan bulat. Pohon ini mendominasi daerah perakaran dengan membentuk akar-akar lateral dan superfisial yang banyak dan besar, sehingga akan berakibat pada tidak seimbangnya distribusi sumberdaya antara pohon dan tanaman bawah jika dikembangkan pada sistem *agroforestry*. Jenis pohon hutan/kayu dan pohon serbaguna mempunyai laju dan ritme pertumbuhan di atas tanah yang berbeda. Pada awal pertumbuhan, jenis pohon kayu mempunyai biomassa di atas tanah yang lebih rendah dibandingkan dengan jenis pohon serbaguna. Perangkat lunak FBA dapat menduga bagian biomassa di atas tanah dari mahoni dan sungkai dengan rata-rata standar deviasi  $1 \pm 0,34$ . Perangkat lunak ini perlu dikoreksi sehingga dapat menduga biomassa pohon lebih tepat terutama untuk pohon yang mempunyai sifat yang berbeda, khususnya pohon yang menunjukkan proses reiterasi yang terlalu cepat dan berlimpah.

Kata kunci: Bentuk tajuk, indeks kedangkalan akar, persamaan allometri, berat kering pucuk, luas daun

## I. PENDAHULUAN

Dalam setiap sistem *agroforestry*, interaksi antara pohon dan tanaman bawah terjadi, baik di atas maupun di bawah permukaan tanah. Interaksi ini bisa langsung dan bisa pula tidak langsung dan memberikan pengaruh positif dan atau negatif terhadap pohon dan tanaman bawah sebagai komponen dari sebuah sistem *agroforestry*.

Transmisi cahaya, karbon dioksida dan air hujan di antara bagian-bagian di atas tanah dari pohon, dan tanaman bawah dipengaruhi oleh ekspresi komponen-komponen utama arsitektur pohon yang menentukan bentuk tajuk dan distribusi daun (Oldeman, 1992; Vester, 1997). Secara umum bentuk tajuk berupa ruang tiga dimensi, mempunyai variasi yang tinggi secara *physiognomy*, mulai dari bentuk kerucut (*conoid*) yang rapat sampai bulat (*hemispherical*) terbuka (Brack, 1999). Arsitektur pohon sebagaimana didefinisikan oleh Hallé *et al.* (1978) adalah “ekspresi genetik *blueprint* yang dapat dilihat secara morfologi dari sebatang pohon pada suatu waktu”. Oleh sebab itu konsep ini tidak statis, karena mempertimbangkan dinamika proses.

Distribusi perakaran dalam ruang dan waktu dipengaruhi, baik oleh faktor genetik maupun oleh kondisi tanah setempat (Huck, 1983; Atger, 1992). Distribusi perakaran dapat didekati berdasarkan arah dari akar proksimal, perbandingan pucuk dan akar (*shoot-root ratio*), dan indeks kedangkalan akar (Van Noordwijk dan Purnomosidhi, 1995). Akar proksimal, yaitu akar yang muncul langsung dari dasar batang (bonggol), arahnya bisa vertikal atau horizontal tergantung pada sudut yang terbentuk antara akar dan bidang vertikal. *Shoot-root ratio* adalah nilai yang membandingkan bagian di atas dan bagian di bawah tanah dari sebatang pohon, sedangkan indeks kedangkalan akar didefinisikan sebagai perbandingan antara fraksi akar horizontal dengan *shoot-root ratio* (Van Noordwijk dan Purnomosidhi, 1995). Parameter lain

yang dapat mengekspresikan distribusi perakaran adalah koefisien gini (*g*), yang berasal dari ilmu di bidang sosial-ekonomi dan pada awalnya digunakan untuk mendeskripsikan distribusi pendapatan (Anonim, 1993; Khan, 1997). Parameter ini juga bisa digunakan untuk mendeskripsikan distribusi perakaran berdasarkan jumlah dan ukuran akar.

Dua metode yang berbeda telah digunakan secara luas untuk menentukan biomassa pohon yaitu metode pemanenan langsung (*destructive*) dan metode pendugaan tidak langsung (*non-destructive*) berdasarkan persamaan allometri (Chapman, 1976; Satoo dan Madgwick, 1982). Untuk menduga biomassa pohon dalam sistem *agroforestry* multi-spesies Van Noordwijk dan Mulia (2002) telah mengembangkan sebuah perangkat lunak (*software*) yaitu *Functional Branching Analysis* (FBA). Perangkat lunak ini tidak hanya bisa menduga jumlah biomassa dalam berat kering, tetapi juga sifat-sifat pohon lainnya, seperti total luas daun dan akar, total panjang batang dan akar. Perangkat lunak ini dibangun menurut model *fractal* atau *self-repeating* atau *self-similarity across scales*, yang berarti bahwa gambaran suatu titik percabangan akan terlihat sama sekalipun diambil pada titik percabangan yang pertama atau terakhir dari sebatang pohon.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari arsitektur pohon dan distribusi perakaran serta menduga biomassa pohon sebagai salah satu komponen dalam sistem *agroforestry*. Pertanyaan penelitian yang diajukan dalam studi ini adalah:

1. Jenis pohon yang mana (dari empat jenis yang dicoba) yang mempunyai bentuk tajuk dan distribusi perakaran yang tepat dan cocok dikembangkan dalam sistem *agroforestry*?
2. Adakah perbedaan antara jenis pohon kayu (*timber*) dan jenis pohon serbaguna dalam biomasnya, khususnya pada tahap pertumbuhan awal?
3. Apakah biomassa pohon yang diduga melalui perangkat lunak FBA sama

dengan biomassa pohon yang diperoleh melalui metode pemanenan lengkap?

## II. METODOLOGI

### A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Desa Semoi II dan Semoi III, Kecamatan Sepaku, Kabupaten Pasir, Provinsi Kalimantan Timur. Objek penelitian adalah pertanaman beberapa jenis pohon muda dalam sistem *agroforestry* di lahan kritis alang-alang. Petak pengamatan terdiri dari tiga blok; dua blok di Desa Semoi II dan satu blok di Desa Semoi III. Empat jenis pohon yang diamati adalah mahoni (*Swietenia macrophylla* King, Meliaceae), sungkai (*Peronema canescens* Jack., Verbenaceae), kemiri (*Aleurites moluccana* (L.) Willd., Euphorbiaceae), dan sukun (*Artocarpus altilis* Fosberg, Moraceae). Dua yang pertama adalah jenis pohon kayu dan dua yang terakhir adalah jenis pohon serbaguna, dengan produk buah dan kayu yang bernilai tinggi. Penelitian dilakukan tahun 2000 dan 2001.

### B. Metode Pengumpulan Data

#### 1. Arsitektur Pohon

Pengamatan arsitektur, khususnya bagian di atas tanah, dilakukan terhadap empat jenis pohon muda (mahoni, sungkai, kemiri, dan sukun) dalam sistem *agroforestry* yang berumur 24 bulan. Sebagai pembanding, pohon dewasa dari masing-masing jenis yang tumbuh di luar blok penelitian juga diamati. Dasar pengamatan adalah karakteristik batang, pola percabangan, diferensiasi dan reiterasi cabang serta bentuk tajuk. Hallé *et al.* (1978) mendeskripsikan 24 model arsitektur pohon, 21 dari model-model tersebut disajikan pada Lampiran 1. Sebelumnya Hallé dan Oldeman (1970) memberi nama model-model tersebut dengan nama botanis yang menemukannya. Bentuk tajuk secara *physiognomy* diklasifikasikan

berdasarkan kriteria yang dibuat oleh Direktorat Jenderal Kehutanan (1976), dimana bentuk tajuk dikatakan piramid jika bagian terlebar ditemukan pada dasar tajuk dan semakin ke atas semakin kecil. Bentuk tajuk parabola jika panjang atau dalamnya tajuk lebih dari dua kali lebarnya, dan lebarnya tajuk sama sepanjang batang. Tajuk dikatakan *hemispherical* bila bagian terlebar dari tajuk ada di tengah-tengah panjang tajuk dan panjang tajuk hampir sama dengan lebarnya.

#### 2. Distribusi Perakaran

Pengumpulan data dilakukan dengan menggali dan mengekspose perakaran dari empat jenis pohon (mahoni, sungkai, kemiri, dan sukun) pada umur 12 dan 24 bulan. Untuk setiap jenis diambil enam individu pohon sebagai contoh pada setiap blok penelitian, masing-masing dua pohon pada setiap posisi (puncak, lereng, dan lembah). Untuk ketiga blok penelitian, terdapat 18 individu pohon untuk masing-masing jenis. Total pohon yang diamati adalah 72 individu. Pohon contoh yang diambil adalah pohon yang sehat dengan pertumbuhan sedang.

Suatu akar diklasifikasikan sebagai akar horizontal ( $H_{root}$ ) apabila sudut antara akar dan bidang vertikal lebih besar atau sama dengan  $45^\circ$  ( $\geq 45^\circ$ ). Jika sudutnya lebih kecil dari  $45^\circ$  ( $< 45^\circ$ ), akar tersebut diklasifikasikan sebagai akar vertikal ( $V_{root}$ ). Fraksi akar horizontal adalah perbandingan antara luas permukaan akar-akar horizontal dengan total luas permukaan akar (horizontal + vertikal). *Shoot-root ratio* dapat dikemukakan melalui perbandingan antara total luas penampang melintang akar dengan luas penampang melintang batang atau basal area.

Diameter seluruh akar proksimal diukur pada jarak 20 cm dari dasar batang. Demikian pula besarnya sudut akar-akar tersebut terhadap bidang horizontal. Sudut ini kemudian dikonversi terhadap bidang vertikal, yang digunakan sebagai standar pada studi ini. Diameter batang

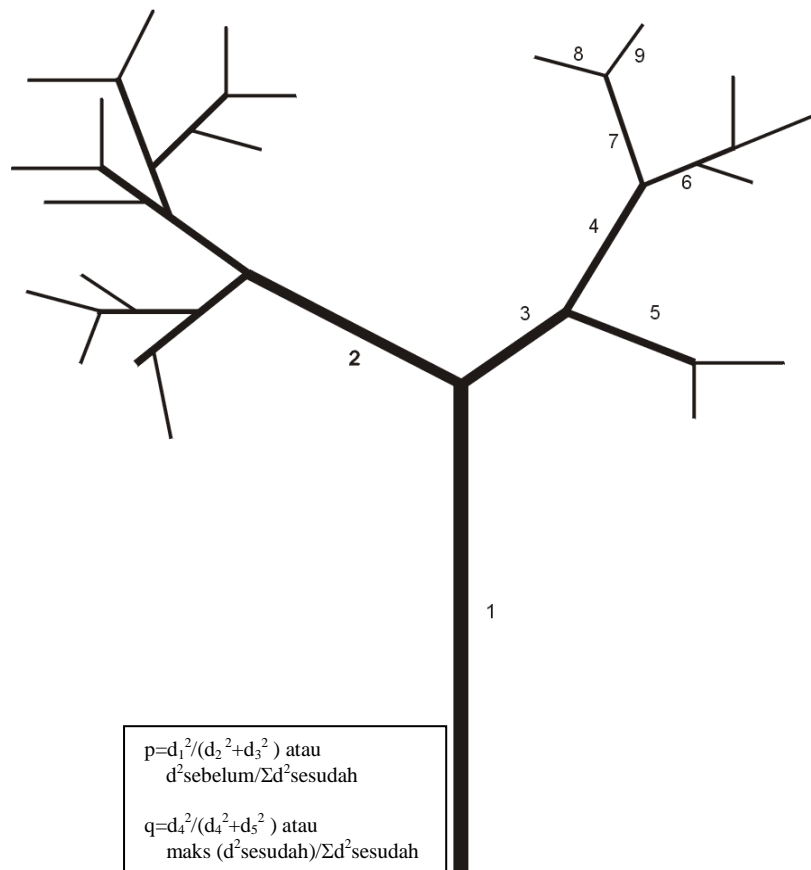
diukur pada ketinggian 25 cm dari dasar akar ketika tanaman berumur 12 bulan, pada 25 cm dan 130 cm (setinggi dada) pada tanaman yang berumur 24 bulan.

### 3. Pendugaan Biomassa Pohon

Beberapa individu pohon dari masing-masing jenis dipilih secara purposif yaitu tanaman yang sehat dengan tingkat pertumbuhan sedang. Karakteristik percabangan yang diperlukan untuk *input* data pada perangkat lunak FBA adalah jumlah percabangan ( $n$ ), *transfer coefficient* ( $p$ ), *allocation coefficient* ( $q$ ), dan *regression coefficient* antara diameter dan panjang sebuah *link*. *Link* adalah bagian dari batang atau cabang di antara dua titik percabangan. Nilai  $p$  merupakan perbandingan antara total luas penampang melintang *link* sebelum dan sesudah percabangan. Nilai  $q$  didefinisikan sebagai rasio antara

diameter *link* terbesar dengan jumlah seluruh diameter *link* pada suatu percabangan (Gambar 1). Untuk pendugaan yang dapat dipercaya, diperlukan minimum 50 titik percabangan (Van Noordwijk dan Mulia, 2002). Untuk itu minimum 50 titik percabangan dari masing-masing jenis pohon telah diamati. Parameter lain yang juga diperlukan adalah berat jenis kayu (*wood density*) dan *specific leaf area* (SLA).

Diameter dan panjang dari setiap *link* dan jumlah daun di sepanjang *link* diukur dan dihitung. Batang atau *link* dan induk dari sebuah pohon diberi nomor. Batang utama diberi nomor 1, *link* yang muncul setelah percabangan pertama diberi nomor 2 dan 3, *link* setelah percabangan berikutnya diberi nomor 4 dan 5, demikian seterusnya (Gambar 1). Nomor induk dari sebuah batang utama adalah 0.



Gambar (Figure) 1. Penomoran *link* pada pohon dan formula *transfer coefficient* ( $p$ ) dan *allocation coefficient* ( $q$ ) beberapa percabangan (Link numbering in a tree and the formula of the transfer coefficient ( $p$ ) and allocation coefficient ( $q$ ) among the branches)

Beberapa macam contoh kayu (batang, cabang, dan ranting) dari masing-masing jenis diambil untuk menentukan berat jenisnya. Contoh-contoh tersebut dikeringkan di oven pada suhu 70°C sampai berat keringnya konstan. Beberapa contoh daun dari masing-masing jenis pohon dikumpulkan untuk menentukan rata-rata luas daun dan SLA. Berat kering daun ditentukan dengan mengeringkan contoh daun di oven pada suhu 70°C selama 24 jam.

Di samping metode tidak langsung menggunakan perangkat lunak FBA, metode pemanenan langsung juga dilakukan untuk membandingkan hasilnya. Panjang dan diameter log (dalam perangkat lunak ini disebut *link*) semua bagian pohon serta jumlah daun diukur dan dihitung. Berat jenis batang, cabang dan ranting serta SLA, dan rata-rata luas daun yang ditentukan untuk *input* data FBA juga digunakan pada metode pemanenan langsung.

### C. Analisis Data

#### 1. Arsitektur Pohon

Deskripsi dari masing-masing jenis pohon dicek silang dengan literatur yang ada yang modelnya telah dideskripsikan oleh Hallé dan Oldeman (1970). Kemudian arsitektur dari jenis pohon tersebut ditetapkan mewakili atau menyerupai suatu model yang paling cocok dari 21 model yang sudah dideskripsikan. Bentuk tajuk pohon diklasifikasikan berdasarkan kriteria yang dibuat oleh Direktorat Jenderal Kehutanan (1976).

#### 2. Distribusi Perakaran

Fraksi akar horizontal dihitung sesuai formula:

$$\text{Fraksi akar horizontal} = \frac{\sum_1^{n_h} d_r^2, H_{root}}{\sum_1^n d_r^2, H + V_{root}}$$

Dimana:

$n_h$  = Jumlah akar horizontal

$n$  = Jumlah semua akar (horizontal dan vertikal)

*Shoot-root ratio* dihitung dari kuadrat diameter batang ( $d^2$ ) dan jumlah kuadrat semua diameter akar ( $\sum d_r^2, H + V_{roots}$ ) dari setiap individu pohon sesuai formula berikut:

$$\text{Shoot-root ratio} = \frac{d^2}{\sum_1^n d_r^2}$$

Dimana:

$n$  = Jumlah semua akar (horizontal dan vertikal)

Koefisien Gini dihitung berdasarkan frekuensi kumulatif (F) dari ukuran relatif atau luas penampang melintang semua akar (X), dengan formula berikut:

$$\text{Frekuensi kumulatif} = \left[ (d_r - d_{r_{\min}}) / d_{r_{\max}} \right]^2$$

Dimana:  $d_r$  = Diameter akar

### 3. Pendugaan Biomassa Pohon

Parameter percabangan untuk *input* data pada FBA dihitung dengan menggunakan program FbaHelpFile, karena penghitungan secara manual sulit dilakukan. Parameter tersebut meliputi:  $n_{sub}$ ,  $mean_p$ ,  $mean_q$ ,  $range_p$ ,  $range_q$ ,  $intercept$ ,  $slope$ ,  $range_l$ ,  $dmin$ ,  $dmaxfin$ ,  $dzerofin$ , dan  $maxfindens$ . Parameter  $n$ ,  $p$ , dan  $q$  sudah diuraikan di atas, *intercept* dan *slope* merujuk pada *intercept* dan *slope* persamaan regresi antara diameter dan panjang dari *links*, sementara *range-l* adalah kisaran relatif untuk panjang *links*. *Dmin* adalah diameter *link* pada percabangan terakhir, sementara *dmaxfin* dan *dzerofin* adalah diameter *link* ketika jumlah daun berturut-turut mencapai maksimum dan nol. Terakhir, *maxfindens* adalah jumlah daun per sentimeter *links*.

Seluruh parameter percabangan beserta data lain seperti SLA, berat jenis kayu, dan lain-lain digunakan untuk *input* data pada perangkat lunak FBA. Biomassa pohon khusus bagian di atas permukaan tanah untuk masing-masing jenis tersaji sebagai *output* dari program.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Arsitektur Pohon

Model arsitektur dari empat jenis pohon (mahoni, sungkai, kemiri, dan sukun) dalam sistem *agroforestry*, sebagai berikut:

##### 1. Mahoni (*Swietenia macrophylla* King, *Meliaceae*), Gambar 2A

Arsitektur pohon mahoni sesuai dengan ‘model Rauh’, dengan batang yang monopodial dan tumbuh secara *indefinite* dan *rhythmic*. Percabangan secara *morphogenetic* ekuivalen dengan batang. Percabangan ini tumbuh secara *orthotropic* dan *definite*. Setiap cabang mempunyai daun yang tersusun secara spiral. Bunga biasanya lateral dan tidak berpengaruh terhadap perkembangan atau pertumbuhan tunas. Pada pertumbuhan awal (dua tahun pertama), lebar tajuk konstan sepanjang batang, sementara panjang tajuknya kira-kira dua kali lebarnya. Dengan demikian, secara *physiognomy* bentuk tajuk dari pohon mahoni muda diklasifikasikan ke dalam bentuk parabola.

##### 2. Sungkai (*Peronema canescens* Jack, *Verbenaceae*), Gambar 2B

Batang utama yang monopodial dan model pertumbuhan *indefinite*, *rhythmic*, arsitektur pohon sungkai mewakili ‘model Scarrone’ pada saat masih muda dan ‘model Leeuwenberg’ pada saat dewasa. Bentuk tajuk pohon sungkai muda hampir sama dengan bentuk tajuk pohon mahoni sekalipun arsitekturnya berbeda. Lebar tajuk konstan sepanjang batang, dimana panjang tajuk hampir dua kali lebarnya. Dengan demikian, tajuk pohon sungkai muda berbentuk parabola.

##### 3. Kemiri (*Aleurites moluccana* Willd, *Euphorbiaceae*), Gambar 2C dan Gambar 2E

Berdasarkan penampilan secara morfologi dari bagian pohon di atas tanah, pohon kemiri menyerupai ‘model Scarrone’. Batang utama monopodial dan

model pertumbuhan *indefinite* dan *rhythmic*. Pohon kemiri membentuk tajuk yang *hemispherical* pada awal (dua tahun pertama) pertumbuhannya. Bagian terlebar dari tajuk terletak di tengah-tengah panjang tajuk dan panjang tajuk itu sendiri hampir sama dengan lebarnya.

##### 4. Sukun (*Artocarpus altilis* Fosberg, *Moraceae*), Gambar 2D dan Gambar 2F

Batang utama monopodial dengan model pertumbuhan *indefinite* dan *rhythmic*, dengan percabangan *orthotropic*. Model arsitektur pohon sukun mengikuti ‘model Rauh’. Seperti kemiri, sukun juga membentuk tajuk yang *hemispherical* pada dua tahun pertama pertumbuhannya.

#### B. Distribusi Perakaran

Fraksi akar horizontal dan *shoot-root ratio* empat jenis pohon disajikan pada Tabel 1. Dapat dilihat bahwa fraksi akar horizontal mahoni, sungkai, kemiri, dan sukun merupakan bagian yang dominan, terutama pada umur 24 bulan. Sebaliknya, fraksi akar vertikal hanya merupakan bagian kecil dari total akar. Pada pengamatan umur 12 bulan, proporsi akar terhadap batang berkisar antara 1:4 dan 1:1, sementara pengamatan umur 24 bulan, proporsinya 1:2 sampai 2:1. Ini menunjukkan bahwa laju pertumbuhan diameter akar lebih tinggi dari laju pertumbuhan diameter batang selama periode umur 12 sampai 24 bulan.

Selanjutnya dapat dikemukakan bahwa fraksi akar horizontal sukun berbeda nyata dan lebih rendah dibanding tiga jenis lainnya pada umur 12 bulan, sementara pada umur 24 bulan juga berbeda nyata dan lebih rendah dari mahoni tetapi sama dengan sungkai dan kemiri. Sukun mempunyai fraksi akar horizontal yang paling rendah dan fraksi akar vertikal yang paling tinggi di antara empat jenis pohon yang diamati, artinya pertumbuhan akar vertikal pada sukun lebih kuat dan lebih cepat. Atger (1992) mengemukakan bahwa beberapa spesies pohon membentuk



Gambar (Figure) 2. Ekspresi morfologi empat jenis pohon (*Morphological expression of four tree species*): A. Mahoni (*Swietenia macrophylla* King, Meliaceae); B. Sungkai (*Peronema canescens* Jack., Verbenaceae); C. Kemiri (*Aleurites moluccana* Willd., Euphorbiaceae); D. Sukun (*Artocarpus altilis* Fosberg, Moraceae); E. Kemiri dewasa (*A. moluccana*, mature stage); F. Sukun dewasa (*A. altilis*, mature stage)

Tabel (Table) 1. Fraksi akar horizontal dan *shoot-root ratio* berdasarkan jenis pohon dan posisi tanaman umur 12 dan 24 bulan (*Horizontal root fraction and shoot-root ratio according to tree species and topo-sequential position*)

Jenis dan posisi pohon ( <i>Species and position of tree</i> )	Fraksi akar horizontal ( <i>Horizontal root fraction</i> )		<i>Shoot-root ratio</i>		
	12 bulan ( <i>Months</i> )	24 bulan ( <i>Months</i> )	12 bulan ( <i>Months</i> ), d-25	24 bulan ( <i>Months</i> ), d-25	24 bulan ( <i>Months</i> ), d-130
<i>Jenis pohon (Tree species):</i>					
Mahoni ( <i>S. macrophylla</i> )	0,64 <sup>a</sup>	0,90 <sup>a</sup>	4,37 <sup>a</sup>	1,64 <sup>a</sup>	0,72 <sup>tn</sup>
Sungkai ( <i>P. canescens</i> )	0,73 <sup>a</sup>	0,81 <sup>ab</sup>	2,50 <sup>b</sup>	1,20 <sup>ab</sup>	0,73
Kemiri ( <i>A. moluccana</i> )	0,66 <sup>a</sup>	0,83 <sup>ab</sup>	1,28 <sup>b</sup>	1,32 <sup>ab</sup>	0,58
Sukun ( <i>A. altilis</i> )	0,46 <sup>b</sup>	0,69 <sup>b</sup>	2,09 <sup>b</sup>	0,79 <sup>b</sup>	0,54
<i>Posisi pohon (Tree position):</i>					
Puncak ( <i>Top</i> )	0,65 <sup>tn</sup>	0,80 <sup>tn</sup>	2,64 <sup>tn</sup>	1,17 <sup>tn</sup>	0,58 <sup>tn</sup>
Lereng ( <i>Slope</i> )	0,63	0,80	2,97	1,21	0,65
Lembah ( <i>Valley</i> )	0,59	0,82	2,06	1,34	0,70

Keterangan (*Remarks*):

Nilai yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata ( $P < 0,05$ ) menurut Uji Benda Berganda Duncan, tn = Tidak berbeda nyata ( $P > 0,05$ ) (*Values followed by different letters are significantly different ( $P < 0.05$ ) according to Duncan Multiple Range Test, tn = No significant difference ( $P > 0.05$ )*)

akar-akar vertikal pada periode awal siklus hidupnya, sedangkan spesies lain membentuknya belakangan. Posisi pohon (puncak, lereng, dan lembah) tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap fraksi akar horizontal. Pada pengamatan umur 12 bulan terdapat kecenderungan semakin tinggi posisi pohon semakin besar fraksi akar horizontal, namun pada pengamatan umur 24 bulan kecenderungan tersebut tidak ada.

Mahoni menunjukkan *shoot-root ratio* yang tertinggi dan berbeda nyata dengan ketiga jenis lainnya pada umur 12 bulan. Pada umur 24 bulan, mahoni masih mempunyai *shoot-root ratio* yang paling tinggi pada diameter batang setinggi 25 cm, tetapi secara statistik sama dengan sungkai dan kemiri, hanya berbeda nyata dengan sukun. Untuk diameter batang yang diukur pada ketinggian 130 cm, tidak terdapat perbedaan yang nyata di antara keempat jenis pohon dalam nilai *shoot-root ratio*. Sukun cenderung mempunyai nilai *shoot-root ratio* yang terendah, karena akar sukun tumbuh lebih vertikal dan lebih cepat dari tiga jenis yang lain. Dapat disimpulkan bahwa pertumbuhan bagian di atas permukaan tanah dari mahoni, sungkai, dan kemiri lebih cepat dari sukun. Posisi pohon tidak memberikan perbedaan yang nyata dalam nilai *shoot-root ratio*. Namun terdapat kecenderungan bahwa pohon yang tumbuh pada posisi yang lebih rendah dengan asumsi mendapat suplai air yang lebih baik, mempunyai nilai *shoot-root ratio* yang lebih tinggi.

Koefisien Gini dan indeks kedangkalan akar dari empat jenis pohon pada umur 12 dan 24 bulan dapat dilihat pada Tabel 2. Jumlah pohon contoh pada pengamatan umur 12 bulan tidak sama antar jenis pohon, karena sebagian besar pohon sukun yang diamati tidak mempunyai cukup akar untuk menghitung Koefisien Gini ( $\leq 5$  akar per pohon). Pada pengamatan umur 12 bulan, Koefisien Gini dari kemiri terendah dan berbeda nyata dengan sungkai tetapi sama dengan mahoni dan

sukun. Pada umur 24 bulan, nilai Koefisien Gini dari sukun terendah dan berbeda nyata dengan sungkai tetapi sama dengan mahoni dan kemiri. Nampaknya, pohon kemiri memproduksi banyak akar yang berukuran kecil pada tahun pertama. Pada tahun kedua jumlah akar kemiri tidak bertambah, hanya ukurannya yang bertambah besar sehingga nilai Koefisien Gini-nya menjadi lebih tinggi. Sebaliknya, pohon sukun memproduksi sedikit akar besar pada tahun pertama dan selanjutnya memproduksi banyak akar dengan ukuran kecil, sehingga Koefisien Gini-nya menjadi lebih rendah. Posisi pohon memberikan perbedaan yang nyata pada nilai Koefisien Gini pengamatan umur 12 bulan, tetapi setelah itu pengaruhnya tidak nampak. Gambar 3 menyajikan distribusi perakaran aktual dari empat jenis pohon yang diamati.

Indeks kedangkalan akar terbesar cenderung ditunjukkan oleh kemiri pada kedua waktu pengamatan, umur 12 dan 24 bulan. Tidak ada pengaruh yang konsisten dari posisi pohon terhadap indeks kedangkalan akar empat jenis pohon yang diamati.

Distribusi hara, air, dan cahaya di antara pohon dan tanaman bawah dalam suatu sistem *agroforestry*, terutama dipengaruhi oleh karakteristik dari pohon tersebut sebagai komponennya. Bentuk tajuk pohon yang tipis dan sempit memungkinkan transmisi cahaya yang optimal pada tanaman bawah. Perakaran pohon yang dalam dan vertikal memungkinkan akar-akar tersebut menyerap hara pada lapisan yang lebih dalam dan juga berfungsi sebagai jaring pengaman (Suprayogo *et al.*, 2002). Karakteristik pohon seperti ini, distribusi sumberdaya di antara pohon dan tanaman bawah akan optimal, baik untuk keseimbangan ekosistem maupun untuk tujuan produksi pertanian. Jenis-jenis pohon pionir, cepat tumbuh, dan tahan terhadap kekeringan yang dapat beradaptasi dengan lingkungan yang tertekan seperti lahan alang-alang yang tandus, biasanya mempunyai

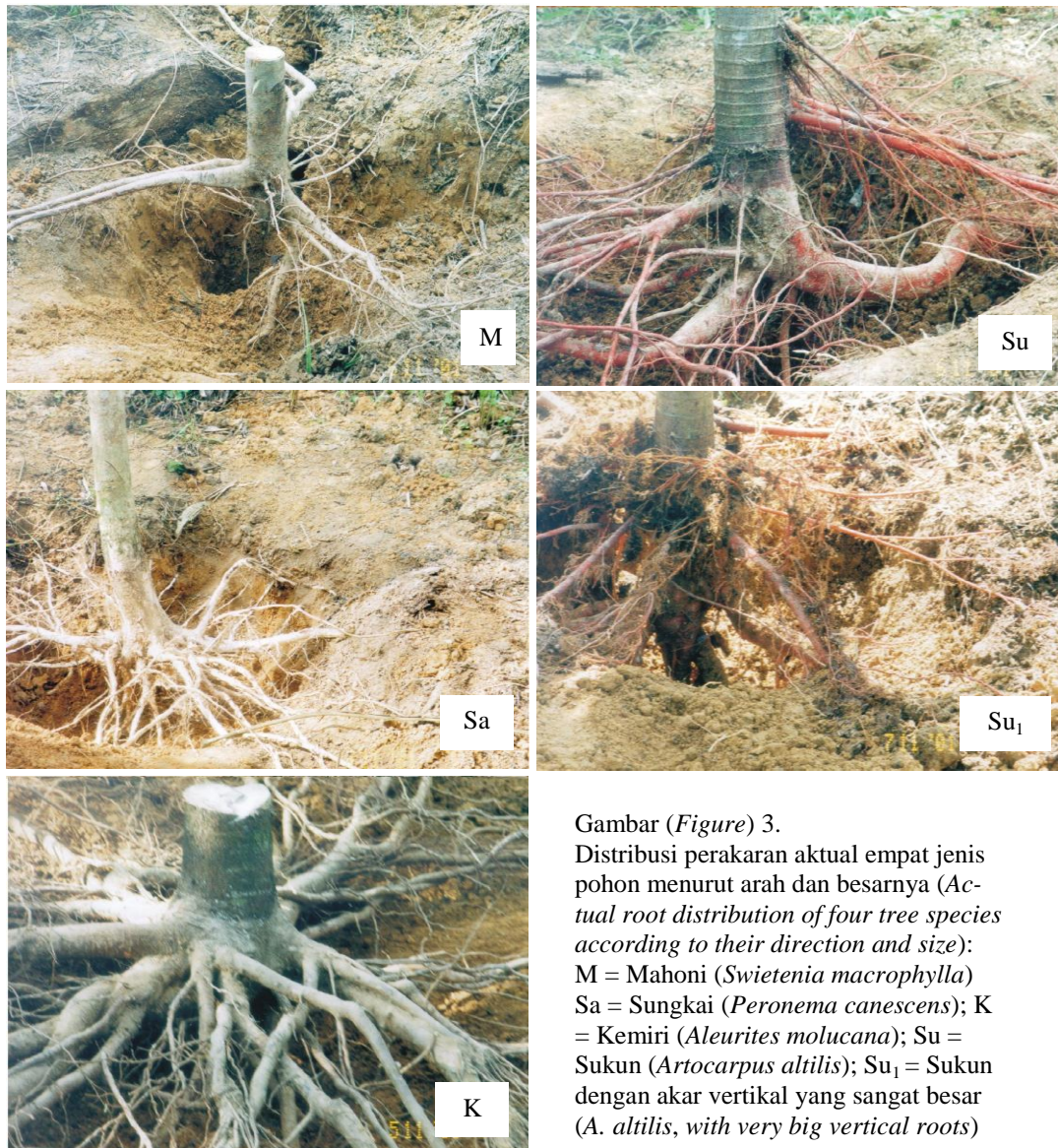


Tabel (Table) 2. Koefisien Gini (g) dan indeks kedangkalan akar berdasarkan jenis pohon dan posisi tanaman, umur 12 dan 24 bulan (*Gini coefficient (g) and index of root shallowness of four tree species according to the topo-sequential position of the trees, 12 and 24 months old*)

Jenis dan posisi pohon ( <i>Species and position of tree</i> )	Koefisien Gini ( <i>Gini coefficient</i> ) (g)		Indeks kedangkalan akar ( <i>Index of root shallowness</i> )		
	12 bulan ( <i>Months</i> )	24 bulan ( <i>Months</i> )	12 bulan ( <i>Months</i> ), d-25	24 bulan ( <i>Months</i> ), d-25	24 bulan ( <i>Months</i> ), d-130
<b>Jenis pohon (<i>Tree species</i>):</b>					
Mahoni ( <i>S. macrophylla</i> )	0,53 <sup>ab</sup> , n (16)	0,50 <sup>ab</sup>	0,16 <sup>c</sup>	0,61 <sup>tn</sup>	1,36 <sup>tn</sup>
Sungkai ( <i>P. canescens</i> )	0,55 <sup>a</sup> , n (18)	0,77 <sup>a</sup>	0,31 <sup>b</sup>	0,76	1,27
Kemiri ( <i>A. moluccana</i> )	0,33 <sup>b</sup> , n (18)	0,61 <sup>ab</sup>	0,52 <sup>a</sup>	0,84	1,56
Sukun ( <i>A. altilis</i> )	0,52 <sup>ab</sup> , n (8)	0,35 <sup>b</sup>	0,21 <sup>bc</sup>	0,90	1,36
<b>Posisi pohon (<i>Tree position</i>):</b>					
Puncak ( <i>Top</i> )	0,48 <sup>ab</sup>	0,62 <sup>tn</sup>	0,29 <sup>tn</sup>	0,81 <sup>tn</sup>	1,54 <sup>tn</sup>
Lereng ( <i>Slope</i> )	0,58 <sup>a</sup>	0,52	0,28	0,78	1,33
Lembah ( <i>Valley</i> )	0,39 <sup>b</sup>	0,52	0,33	0,75	1,30

Keterangan (*Remarks*):

Nilai yang diikuti oleh huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan yang nyata ( $P < 0,05$ ) menurut Uji Benda Berganda Duncan, tn = Tidak berbeda nyata ( $P > 0,05$ ) (*Values followed by different letters are significantly different ( $P < 0.05$ ) according to Duncan Multiple Range Test, tn = No significant difference ( $P > 0.05$ )*)



Gambar (Figure) 3. Distribusi perakaran aktual empat jenis pohon menurut arah dan besarnya (*Actual root distribution of four tree species according to their direction and size*): M = Mahoni (*Swietenia macrophylla*); Sa = Sungkai (*Peronema canescens*); K = Kemiri (*Aleurites moluccana*); Su = Sukun (*Artocarpus altilis*); Su<sub>1</sub> = Sukun dengan akar vertikal yang sangat besar (*A. altilis*, with very big vertical roots)

karakteristik yang berlawanan dalam hal bentuk tajuk dan distribusi perakaran. Van Noordwijk *et al.* (1996) melaporkan bahwa pohon dengan akar vertikal yang berkembang dengan baik dan mempunyai sedikit akar lateral umumnya mempunyai pertumbuhan awal yang lambat. Gagasan untuk memperoleh jenis pohon yang cepat tumbuh dan tidak bersifat sebagai pesaing adalah sesuatu yang kontradiktif, paling tidak selama fase perkembangan awal.

Pengalaman lapang menunjukkan bahwa jenis pohon hutan/kayu mempunyai bentuk tajuk yang lebih sempit dan lebih tipis selama fase awal perkembangannya dibandingkan dengan jenis pohon serbaguna atau pohon buah-buahan. Pohon hutan juga biasanya mempunyai perakaran yang dalam dan vertikal. Dari pengamatan dan pengukuran perakaran diketahui bahwa, mahoni dan sungkai pada dua tahun pertama pertumbuhannya mempunyai indeks kedangkalan akar yang lebih rendah dan nilai *shoot-root ratio* yang lebih tinggi dibandingkan dengan pohon kemiri. Pohon kemiri mempunyai akar lateral dan superfisial yang lebih banyak yang menyebar di permukaan tanah dengan tajuk yang rapat dan lebar. Tajuk pohon kemiri dapat menangkap cahaya matahari lebih banyak daripada tajuk mahoni dan sungkai sehingga pohon kemiri dapat tumbuh lebih cepat dan mulai berbuah pada umur dua sampai tiga tahun.

Sesungguhnya pohon kemiri mempunyai beberapa kelebihan jika ditanam pada lahan alang-alang yang terdegradasi/tandus dalam rangka rehabilitasi lahan tersebut. Pohon kemiri menghasilkan cukup naungan untuk menekan dan mengurangi biomassa alang-alang di atas tanah juga untuk mencegah pemulihan alang-alang, karena kapasitas regenerasi dari rizom juga akan berkurang. Pohon ini memberikan pendapatan sampingan kepada petani, karena cepat menghasilkan buah (umur dua sampai tiga tahun), akan tetapi pohon ini mendominasi daerah per-

akaran dengan membentuk akar-akar lateral dan superfisial. Pada kondisi ini, praktek tumpang-sari akan berakibat pada tidak seimbangya distribusi sumberdaya hara, air, dan cahaya di antara pohon dan tanaman bawah. Namun, permasalahan terbatasnya cahaya yang mencapai lapisan bawah dapat diatasi dengan mengintroduksi jenis-jenis tanaman bawah yang tahan naungan seperti empon-empon, kopi, dan coklat.

Pohon-pohon yang tumbuh di tempat yang lebih rendah mempunyai *shoot-root ratio* yang lebih tinggi. Di lembah, tanah biasanya kaya akan unsur hara dan air. Pada tanah yang subur, akar pohon menyerap hara dan air dengan lebih mudah. Pada kasus tersebut, tidak penting untuk menimbun dan atau mengalokasikan cadangan makanan (hasil fotosintesa) untuk pertumbuhan akar-akar baru. Sebagian besar cadangan makanan diakumulasikan pada bagian di atas tanah dari pohon sehingga nilai *shoot-root ratio* menjadi lebih tinggi. Skenario yang berlawanan diduga terjadi pada pohon-pohon yang tumbuh atau ditanam di tempat yang lebih tinggi (di lereng atau di puncak bukit).

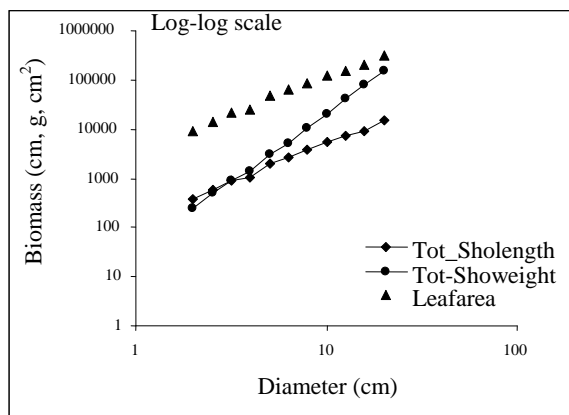
### C. Pendugaan Biomassa Pohon

*Output* dari perangkat lunak FBA adalah biomassa pohon di atas tanah aktual yang meliputi panjang pucuk (cm), berat kering (g), dan luas permukaan daun (cm<sup>2</sup>) berdasarkan diameter pohon setinggi dada. Selain itu didapatkan pula persamaan allometri antara diameter pohon dengan masing-masing unit biomassa tersebut. Biomassa di atas tanah aktual dari empat jenis pohon untuk diameter batang 2 sampai 20 cm disajikan pada Gambar 4, sementara persamaan allometri-nya dapat dilihat pada Tabel 3.

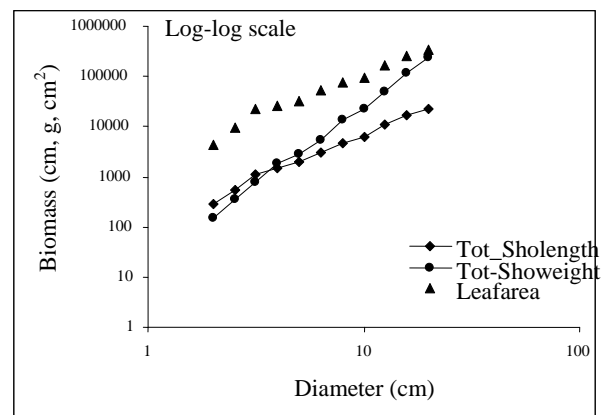
Gambar 4 memperlihatkan bahwa grafik total berat kering mahoni dan sungkai menunjukkan pola yang hampir sama, dimulai pada tingkat yang lebih rendah kemudian meningkat dengan tajam. Sementara untuk kemiri, grafik mulai pada tingkat yang lebih tinggi

kemudian meningkat dengan lambat. Pola biomassa sukun terletak di tengah-tengah, mulai pada nilai yang rendah dengan laju pertumbuhan yang sedang. Dengan demikian, untuk pohon-pohon muda, biomassa mahoni dan sungkai jauh lebih rendah dari biomassa kemiri, sedangkan untuk pohon dewasa, biomassa mahoni dan sungkai melebihi kemiri. Perbedaan ini mengisyaratkan bahwa pohon mahoni dan sungkai sebagai pohon hutan/kayu dapat lebih mudah berintegrasi dengan tanaman bawah dalam sistem *agroforestry* untuk mencapai keseimbangan distribusi sumberdaya, terutama pada fase awal pertumbuhan. Akan tetapi tidak ada pendapatan sampingan petani yang diperoleh, kecuali kayu dengan kualitas tinggi pada akhir rotasi.

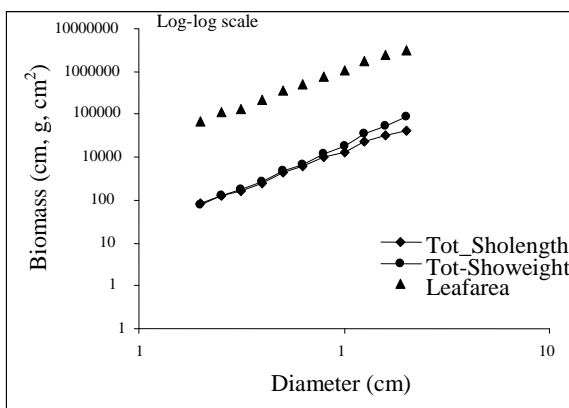
Biomassa pohon di atas tanah yang diperoleh melalui persamaan allometri sebagai hasil dari perangkat lunak FBA tidak persis sama dengan biomassa yang didapat melalui metode pemanenan langsung. Sedikit perbedaan ditemukan untuk mahoni dan sungkai, sementara untuk kemiri dan sukun perbedaannya cukup besar (Tabel 4). Penyebabnya diduga karena hubungan antara diameter dan panjang *links* tidak proporsional dengan akumulasi biomassa kemiri dan sukun. Biasanya semakin besar diameter *links* maka semakin panjang pula *links* tersebut, tetapi pada kasus kemiri dan sukun ditemukan bahwa beberapa *links* dengan diameter yang lebih besar ternyata lebih pendek daripada *link* yang lain dengan diameter yang lebih kecil.



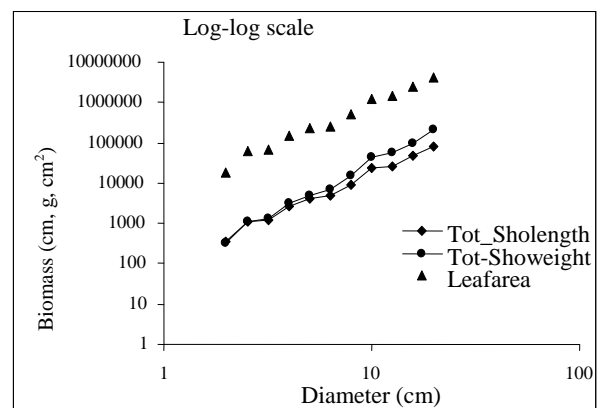
A. Mahoni (*Swietenia macrophylla*)



B. Sungkai (*Peronema canescens*)



C. Kemiri (*Aleurites moluccana*)



D. Sukun (*Artocarpus altilis*)

Keterangan (Remarks):

*Tot sholength* = Total panjang pucuk (batang, cabang, ranting); *Tot showeight* = Total berat kering pucuk (batang, cabang, ranting, dan daun); *Leafarea* = Total luas permukaan daun

Gambar (Figure) 4. Biomassa di atas tanah empat jenis pohon untuk diameter setinggi dada 2 sampai 20 cm (Above ground biomass of the four tree species for stem diameter at breast height ( $d_{bh}$ ) 2 to 20 cm)

Tabel (Table) 3. Rata-rata diameter dan persamaan allometri biomassa di atas tanah empat jenis pohon (Average diameter and allometri equation of above ground biomass of four tree species)

Parameter (Parameters)	Mahoni ( <i>Swietenia macrophylla</i> )	Sungkai ( <i>Peronema canescens</i> )	Kemiri ( <i>Aleurites moluccana</i> )	Sukun ( <i>Artocarpus altilis</i> )
Rata-rata diameter (cm)	4,340	4,994	7,994	3,212
Total berat kering (Total shoot weight):				
- Persamaan allometri (Allometri equation)	$Y=0,3385 D^{2,795}$	$Y=0,01957 D^{3,112}$	$Y=0,16822 D^{2,074}$	$Y=0,06621D^{2,669}$
- Berat kering (Dry weight) (kg)	2,047	2,948	12,525	1,506
Total panjang pucuk (Total shoot length):				
- Persamaan allometri (Allometri equation)	$Y=1,4109 D^{1,560}$	$Y=1,0685 D^{1,8094}$	$Y=2,4982 D^{1,7435}$	$Y=1,0398 D^{2,2165}$
- Panjang (Length) (m)	13,94	19,61	93,67	13,81
Total luas daun (Total leaf area) :				
- Persamaan allometri (Allometri equation)	$Y=0,3623 D^{1,497}$	$Y=0,1907 D^{1,7593}$	$Y=2,1498 D^{1,7037}$	$Y=0,5829 D^{2,2049}$
- Luas daun (Leaf area) (m <sup>2</sup> )	3,262	3,229	74,206	7,638

Keterangan (Remarks):

Y adalah biomassa dan D adalah diameter batang setinggi dada (*Y is biomass and D is stem diameter at breast height*)

Tabel (Table) 4. Perbandingan berat kering biomassa empat jenis pohon hasil perhitungan dengan perangkat lunak FBA dan metode pemanenan langsung (Comparison of biomass dry weight of the four tree species as calculated through FBA software, and biomass values obtained by the complete harvesting method)

Jenis pohon (Tree species)	Diameter batang (Stem diameter) (cm)	Berat kering biomassa (Biomass dry weight) (kg)		
		Perangkat lunak (Software) FBA (A)	Pemanenan langsung (Harvested method) (B)	A/B
Mahoni ( <i>S. macrophylla</i> )	4,7	2,6	3,3	0,78
Sungkai ( <i>P. canescens</i> )	5,7	4,6	3,0	1,45
Kemiri ( <i>A. moluccana</i> )	14,1	40,7	25,3	1,61
Sukun ( <i>A. altilis</i> )	6,5	10,4	3,3	3,20

Aplikasi perangkat lunak FBA untuk menduga biomassa pohon, terutama bagian di atas tanah, terbukti lebih mudah dari metode lainnya dan tidak destruktif. Pada studi ini, biomassa pohon di atas tanah baru dapat diduga untuk jenis pohon hutan/kayu (mahoni dan sungkai) dengan standar deviasi  $1 \pm 0,34$ . Tetapi untuk jenis pohon serbaguna, terutama sukun, perangkat lunak ini menunjukkan *over estimated*. Hubungan antara diameter dan panjang dari beberapa *links* yang terdapat pada sukun diduga berbeda dengan asumsi

yang digunakan dalam FBA karena pohon ini menunjukkan reiterasi yang terlalu cepat, sehingga rasio antara tinggi dan diameter (h/d) secara umum lebih rendah (Oldeman, 1990).

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

1. Mahoni (*Swietenia macrophylla* King) dan sungkai (*Peronema*

*canescens* Jack.) mempunyai bentuk tajuk dan distribusi perakaran yang dapat menunjang pengembangan sistem *agroforestry*, karena memungkinkan distribusi sumberdaya hara, air, dan cahaya yang lebih seimbang.

2. Pohon kayu/hutan dan pohon serbaguna mempunyai laju dan ritme pertumbuhan biomassa di atas tanah yang berbeda. Pada fase pertumbuhan awal, pohon kayu mempunyai biomassa di atas tanah yang lebih rendah daripada pohon serbaguna.
3. Perangkat lunak *Functional Branching Analysis* (FBA) dapat menduga biomassa di atas tanah dari pohon mahoni (*Swietenia macrophylla* King) dan sungkai (*Peronema canescens* Jack.) dengan rata-rata standar deviasi  $1 \pm 0,34$ .

## B. Saran

1. Pemilihan kombinasi jenis tanaman yang akan ditanam dalam sistem *agroforestry* seharusnya didasarkan pada bentuk tajuk dan distribusi perakaran untuk memperoleh distribusi sumberdaya yang seimbang, oleh sebab itu disarankan untuk melanjutkan penelitian ini untuk jenis-jenis pohon lainnya terutama yang telah digunakan masyarakat dalam pola tanam tumpangsari atau pola tanam campuran.
2. Perangkat lunak FBA perlu dikoreksi sehingga dapat menduga biomassa pohon lebih tepat terutama untuk pohon yang mempunyai sifat yang berbeda, khususnya pohon yang menunjukkan proses reiterasi yang terlalu cepat dan berlimpah.

## DAFTAR PUSTAKA

Anonymous. 1993. Gini Says: Measuring Income Inequality. An LBO Report. [http://www.panic.com/~dhenwood/Gini\\_supplement.html](http://www.panic.com/~dhenwood/Gini_supplement.html). Diakses Juli 2002.

- Atger, C. 1992. Essai sur l'architecture Racinaire des Arbres. These Diplome de Doctorat, Universite de Montpellier II, French.
- Brack, C.1999. Tree Crown: Forest Measurement and Modeling. <http://www.anu.edu.au/Forestry/mensuration/crown.htm>. Diakses Juni 2002.
- Chapman, S.B. 1976. Production Ecology and Nutrient Budgets, *in*: Chapman, S.B. (Eds.). *Methods in Plant Ecology*. Second Edition. 157-228. Blackwell Scientific Publisher. Oxford.
- Direktorat Jenderal Kehutanan. (1976). Pedoman Inventarisasi Flora dan Ekosistem. Direktorat Perlindungan dan Pengawetan Alam. Direktorat Jenderal Kehutanan. Bogor, Indonesia.
- Hallé, F.; R.A.A. Oldeman; P.B. Tomlinson. 1978. *Tropical Trees and Forest, An Architectural Analysis*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. 441 p.
- Hallé, F. and R.A.A. Oldeman. 1970. Essai sur l'architecture et la Dynamique de Croissance des Arbres Tropicaux. English translation 1975, Penerbit Univ. Malaya, Kuala Lumpur. 156 p.
- Huck, M.G. 1983. Root Distribution, Growth and Activity with Reference to Agroforestry. *In* Huxley, P.A.(Editor). *Plant Research and Agroforestry* p. 527-542. ICRAF, Nairobi, Kenya.
- Khan, A.R. 1997. Macroeconomic Policies and Poverty: An Analysis of the Experience in Ten Asian Countries. Paper written for the Asian Regional Policy Workshop on Macro Policies and Micro Interventions for Poverty Alleviation, held 5-7 February in Bangkok.
- Oldeman, R.A.A. 1992. Architectural Models, Fractal and Agroforestry Design. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 41: 179-188.

- Oldeman, R.A.A. 1990. *Forest: Elements of Silvology*. Springer-Verlag Berlin. 624 p.
- Satoo, T. and H.A.I. Madgwick. 1982. *Forest Biomass*. Martinus Publishers. Netherlands. 152 p.
- Suprayogo, D., M. Van Noordwijk, K. Hairiah, and G. Cadisch. 2002. The Inherent 'Safety-Net' of an Acrisol: Measuring and Modeling Retarded Leaching of Mineral Nitrogen. *European Journal of Soil Science*.
- Van Noordwijk, M. and R. Mulia, 2002. Functional Branch Analysis as Tool for Fractal Scaling Above and Belowground Trees for Their Additive and Non Additive Properties. *Ecological Modelling* 149 : 41-51.
- Van Noordwijk, M., G. Lawson, J.J.R. Groot, and K. Hairiah. 1996. Root Distribution in Relation to Nutrients and Competition. *In: Huxley P.A. and Ong C.K. (eds.). Tree-crop Interactions, A Physiological Approach*, Chapter 10. CAB International, Wallingford, UK.
- Van Noordwijk, M. and P. Purnomosidhi. 1995. Root Architecture in Relation to Tree-Soil-Crop Interactions and Shoot Pruning in Agroforestry. *Agroforestry System* 30: 161-173.
- Vester, H. 1997. *The Trees and the Forest. The Role of Tree Architecture in Canopy Development: a Case Study in Secondary Forest (Araraucara, Columbia)*. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University. 182 p.

