

STRUKTUR BIOMASSA DI ATAS DAN BAWAH PERMUKAAN TANAH TANAMAN JATI DENGAN MODIFIKASI POLA TANAM

Oleh:
BUDIADI*, M.S. SABARNURDIN**

ABSTRACT

Until now, study on the ecological aspects of agroforestry, e.g. estimation of above and below ground biomass is rare, since foresters tend to be more interested in its technical and production aspects. This study was conducted to develop estimation of above and below ground biomass by employing allometric equation.

The object of the study is teak (*Tectona grandis*) plantation under specific agroforestry model i.e. management regime (MR) type II, where trees are planted similar to alley cropping system with cassava as cash crop for 17, 41, and 65 month old. A total number of 9 trees, three from each of the stands, were taken as sample trees. A destructive method for whole biomass and main-axis cutting (MAC) method for biomass stratification were applied to all sample trees.

Result shows that there were close relationships between stem diameter and stem biomass as well as branch and leaf biomass, allowing us to make biomass estimation from the measured stem diameter. The equations are : $w_s = 0.0138 (D_{0.1}^{2H})^{1.005}$ [kg.cm²m] for stem biomass; $w_b = 0.0000589 (D_{0.1})^{4.747}$ [kg.cm] for branch biomass and $w_l = 0.00879 (D_{0.1})^{2.416}$ [kg.cm] for leaf biomass and $w_r = 0.0396 (D_{0.1}^{2H})^{0.6217}$ [kg.cm²m] for root biomass. Under the MR III plantation, the 17, 41 and 65 month old stands producing an estimated above-ground biomass of 0.0459, 5.097 and 15.143 ton/ha and below ground biomass of 0.0501, 1.373 and 2.838 ton/ha, respectively. Stand biomass is dominated by the woody organ and above ground parts, which drive the nutrient contribution to the ecosystem.

Keywords: management regime, teak, above and below ground biomass, allometry

-
- * Laboratory of Tropical Forest Resources and Environments, Graduate School of Agriculture, Kyoto University (e-mail : budiadi@kais.kyoto-u.ac.jp)
 - ** Laboratory of Agroforestry, Silviculture Department, Faculty of Forestry, Gadjah Mada University, Yogyakarta (e-mail : agfor@ugm.ac.id)

PENDAHULUAN

Struktur tajuk merupakan salah satu faktor yang menentukan keberhasilan agroforestry karena akan menentukan tingkat interaksi antar komponen dan produktivitas lahan. Pada sistem agroforestry yang ideal, bagian biomassa di atas permukaan tanah (*above-ground biomass*) dari pertanaman terdiri dari beberapa strata yang menggambarkan adanya kemampuan setiap komponen tanaman untuk menyerap energi radiasi matahari. Agroforestry umumnya diterapkan pada program reforestasi di daerah-daerah kritis dan diharapkan bisa menjamin kelestarian ekosistem karena adanya fungsi ganda dari pohon di dalam ekosistem tersebut.

Sampai beberapa dekade terakhir, agroforestry masih merupakan praktek tradisional jika dibandingkan dengan bentuk ideal yang selalu digambarkan oleh para peneliti dan konseptor. Di lapangan belum banyak terdapat data yang dapat membuktikan bahwa agroforestry dipraktikkan dalam rangka untuk menghasilkan produktivitas yang lestari. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa menanam adalah hal pertama yang harus dilakukan —tanpa mempertimbangkan struktur tanaman serta tanpa menimbang bentuk interaksi yang akan terjadi apakah kompetisi atau fasilitasi— sementara keuntungan atau kerugiannya akan datang menyusul. Oleh sebab itu umumnya efek-efek yang menguatkan dari sistem agroforestry tidak dapat diperoleh secara optimal oleh pengelola karena belum banyaknya dasar ilmiah tentang itu. Tumpangsari adalah praktek lama yang memerlukan lebih banyak informasi ilmiah untuk pengembangannya, rimbawan terlalu banyak memusatkan pada masalah teknis produksi dan menclantarkan perlunya investigasi aspek-aspek ekologis (Atmosudaryo dan Wijaya Kusumah, 1979).

Sejak istilah produktivitas tanaman mewarnai wacana ilmiah, struktur tajuk tanaman yang efektif untuk memproduksi biomassa menjadi bahan pemikiran para peneliti ekologi hutan. Agroforestry dalam hal ini menempati posisi yang khusus karena fungsinya yang berganda: secara sosial-ekonomi memproduksi bahan konsumsi untuk masyarakat di daerah-daerah kritis, secara ekologi mampu memproduksi biomassa dalam kondisi lingkungan yang terbatas.

Ada beberapa usaha untuk memformulasikan model struktur tajuk tanaman oleh para peneliti sejak tahun 1930-an sehingga akhirnya Shinozaki *et al.* (1964a dan 1964b) menemukan teori model pipa (*the pipe model theory*) yang menyebutkan bahwa pohon adalah kesatuan dari pipa-pipa yang menyokong daun (*foliage*) secara fungsional dan mekanis. Penerapan teori ini dalam agroforestry masih jarang dijumpai meskipun disadari bahwa stratifikasi tajuk merupakan bahasan penting dalam ilmu agroforestry. Mengingat pentingnya penerapan teori ini dalam agroforestry, Nygren *et al.* (1993) berhasil mengestimasi pembagian bahan kering pada *Caliandra calothyrsus* dan *Erithryna berteroana* melalui metode non-destruktif dan menyimpulkan bahwa kedua spesies tersebut masing-masing mempunyai peran dan fungsi yang berbeda dalam agroforestry. Lott *et al.* (2000) mendapatkan hasil yang sama dalam rangka menemukan hubungan diameter pohon dengan kerapatan tajuk pada tanaman *Crevilea robusta*.

Dalam ilmu agroforestry dikenal adanya beberapa interaksi yang bersifat positif pada wilayah pertemuan antara pohon dan tanaman penyerta atau *tree-crop interface* (Nair, 1993) sehingga dalam sistem agroforestry, pohon diharapkan memacu terjadinya proses daur ulang melalui luruhnya daun dan organ-organ lainnya, yang terakumulasi di atas tanah dan selanjutnya memelihara kesuburan tanah, pada gilirannya akan meningkatkan produktivitas tanaman palawija pada strata terbawah dari sistem tersebut. Oleh sebab itu perlu ditekankan bahwa kelestarian sistem agroforestry sangat tergantung kepada banyak sedikitnya jumlah seresah yang jatuh ke permukaan tanah. Pada hutan jati, mengingat tingginya nilai ekonomi kayu jati di pasar, pertumbuhan kayu lebih diperhatikan dibandingkan dengan perannya dalam ekosistem.

Pada sisi yang lain, perakaran mempunyai peran yang penting seperti halnya bagian atas permukaan tanah, khususnya dalam hal pemeliharaan kesuburan tanah. Penelitian tentang perakaran merupakan satu topik penting (Sanchez, 1995). Fungsi perakaran pohon sebagai produsen primer di bawah permukaan tanah (Coleman dan Crossley, 1995) dan khususnya dalam sistem agroforestry adalah :

- mendukung bagian pohon di atas permukaan tanah secara fisik,
- menyerap air dan zat-zat hara untuk pertumbuhan pohon,
- secara khusus menyerap air dan zat-zat hara dari lapisan tanah yang dalam dan batuan yang lapuk,
- memperkaya zat hara tanah melalui pelapukan akar yang mati,
- mengurangi pencucian zat-zat hara dengan menyerapnya dalam suspensi tanah,
- mendukung terbentuknya struktur tanah dengan mengeluarkan zat yang merekatkan partikel-partikel tanah (Young, 1997)

Pada periode tumpangsari diperlukan suatu estimasi yang menggambarkan struktur biomassa pada tanaman ini, sehingga dapat diketahui fungsi tanaman pokok jati terutama untuk mendorong peningkatan produktivitas lahan.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengukur biomassa tanaman jati yang dikelola dengan pola tanam MR III selama periode tumpangsari

BAHAN DAN CARA PENELITIAN

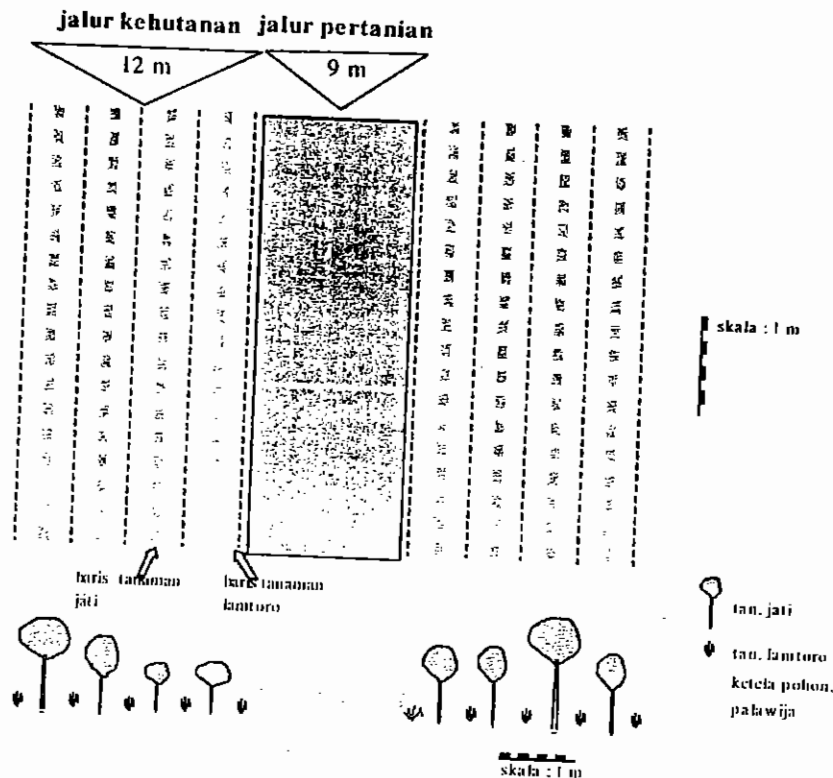
Lokasi

Penelitian dilakukan di Perum Perhutani KPH Madiun Jawa Timur, pada tegakan Jati (*Tectona grandis* L.f.) yang dikelola dengan pola tanam *management regime*

(MR) III sebagai sebuah model pertanaman khusus dalam rangka pelaksanaan Proyek Pengelolaan Hutan Jati Optimal (PHJO), kerjasama Fakultas Kehutanan UGM dengan Perum Perhutani.

Cara Penelitian

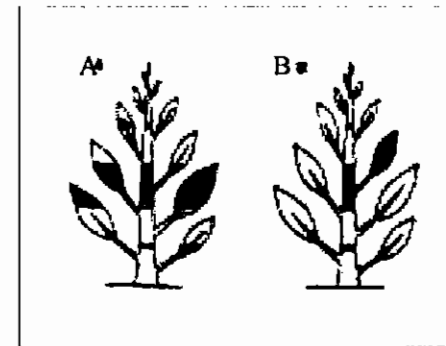
Pendataan, pembuatan plot dan pengambilan sampel dilakukan pada bulan Februari – Maret 2000 pada tegakan berumur 17, 41 dan 65 bulan (*initial growth*) yang bisa dikatakan sebagai periode tumpangsari. Komponen pokok pertanaman adalah jati dengan tanaman ketela pohon sebagai tanaman penyerta. Pada pola tanam MR III, pertanaman dibagi menjadi 2 jalur yang didefinisikan sebagai jalur kehutanan 57% dari seluruh area (lebar 12 m) dan jalur pertanian 43% dari seluruh area (lebar 9 m) setelah melalui simulasi seperti yang dijelaskan Simon (1999). Jarak tanam awal tanaman pokok adalah 3 x 1 m (Gambar 1).



Gambar 1. Pola tanam MR III umur 41 bulan

Pada masing-masing tegakan, 3 pohon sampel dipotong pada bagian pangkal batang dan dibagi-bagi dengan menggunakan metode *main-axis cutting* (MAC) (Chiba, 1991) sebagai pengembangan metode yang lebih klasik yang dikenal dengan metode *stratified-cutting technique* (STC) (Gambar 2). Pada setiap sampel pohon, pengukuran dilakukan terhadap :

- dbh (diameter batang pada ketinggian 1,3 m)
- D_0 (diameter batang pada 0,0 m di atas tanah)
- H (tinggi pohon)



Gambar 2. Perbandingan teknik pengambilan sampel antara (A) *stratified clipping technique* (STC) dan (B) metode *main-axis cutting* (MAC) menurut Chiba (1991)

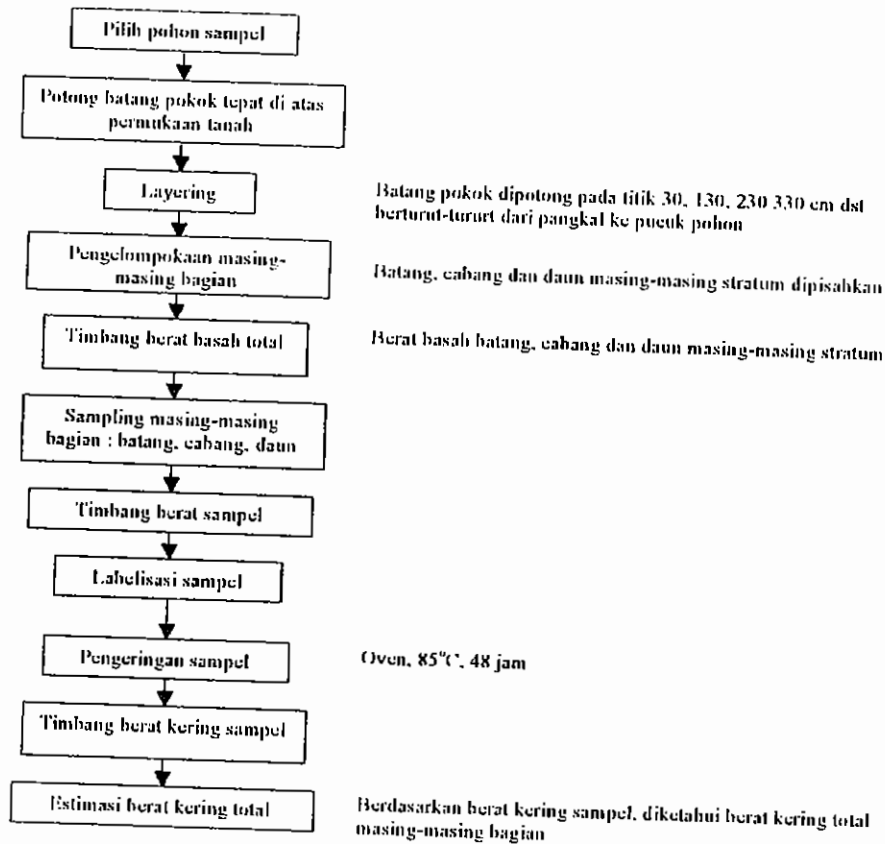
Dari bagian pangkal batang pohon sampel dilakukan *layering* dan stratifikasi pada 30, 130, 230 ... cm tinggi batang. Setiap bagian dari setiap stratum dipisahkan menjadi masing-masing batang, cabang dan daun, kemudian ditimbang sebagai berat segar sampel.

Secara bersamaan, sampel perakaran diambil dengan metode destruktif terhadap 1 batang pohon dari setiap tegakan. Pengambilan sampel ini sebenarnya kurang memadai karena jumlahnya yang sangat terbatas, mengingat secara teknis pengambilan sampel perakaran memang sulit dan memakan waktu. Meskipun demikian, sampel dari 3 batang pohon tersebut diupayakan cukup mewakili tegakan dan diharapkan dapat diperbanyak pada penelitian selanjutnya. Dengan cara yang sama seperti pengambilan sampel bagian atas permukaan tanah, perakaran dipisahkan untuk diameter 0,0 ; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 2,0; 3,0cm, kemudian ditimbang untuk memperoleh berat segar.

Selanjutnya diambil sampel untuk penimbangan berat kering di laboratorium setelah kering oven 80°C selama 48 jam. Untuk membentuk estimasi dengan persamaan alometri, 3 buah plot sampel berukuran 22 x 30 m ditempatkan pada masing-masing tegakan sebagai plot permanen dan kemudian dibagi menjadi 4 sub-plot pengamatan.

Diameter dan tinggi pohon dalam plot permanen menurut rencana akan diukur secara periodik setiap 6 bulan.

Bagan Alir Pengambilan Sampel Biomassa



HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada keadaan normal, tajuk tanaman jati akan tumbuh melebar karena sifat dasar tanaman ini yang memerlukan cahaya (*light demander*). Akan tetapi jika ditanam secara tumpangsari, maka struktur tajuk tanaman jati akan berubah dan berkembang sesuai dengan tingkat cahaya yang bisa diserap. Dalam rangka meningkatkan produktivitas lahan dan mencukupi pemenuhan pangan, maka tanaman jati pada awal pertumbuhannya dikelola dengan tumpangsari bersama tanaman palawija. Konsep MR menghasilkan gagasan bahwa pertanaman kayu jati dipisahkan menjadi 2 jalur yaitu jalur kehutanan dan jalur pertanian, sehingga aktivitas petani dalam

mengelola tanaman palawija terkonsentrasi pada jalur pertanian saja. Perubahan ini akan berdampak pada mekanisme interaksi antar komponen dalam pertanaman, sehingga diperkirakan akan terjadi perbedaan distribusi biomassa dibandingkan dengan pola tradisional yang diterapkan oleh Perum Perhutani.

Persamaan Alometri untuk Biomassa di atas Permukaan Tanah

Dari pengukuran langsung dengan metode pemencaman untuk 4 sampel pohon dari 3 macam tegakan jati periode tumpangsari, diketahui adanya hubungan korelasi antara dimensi batang dengan biomassa batang, cabang dan daun secara logaritmik (Gambar 3). Estimasi dengan menggunakan $D_{0,1}$ dimaksudkan agar persamaan yang dihasilkan lebih fleksibel, sejak rumusan $D_{0,1}$ ini ditemukan berhubungan erat dengan tinggi pohon (Nagano dan Kira, 1978).

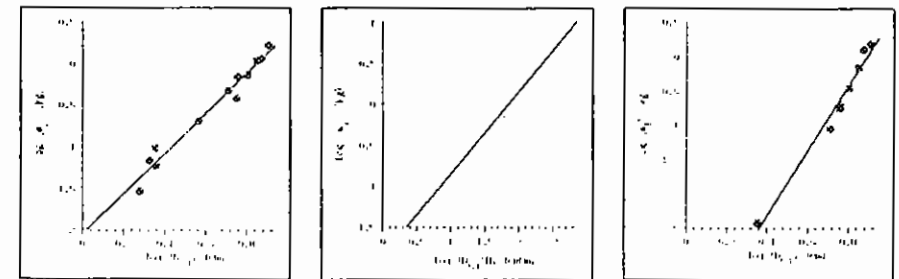
Persamaan hasil alometri ini dapat digunakan untuk mengestimasi biomassa batang (w_s), biomassa cabang (w_b) dan biomassa daun (w_l) berdasarkan diameter batang yang dapat diukur langsung di lapangan. Persamaan-persamaan tersebut adalah :

$$w_s = 0,0138 (D_{0,1}^2 H)^{1,005} \text{ [kg.cm}^2\text{m]} \dots\dots\dots (1)$$

$$w_b = 0,0000589 (D_{0,1})^{4,747} \text{ [kg.cm]} \dots\dots\dots (2)$$

$$w_l = 0,00879 (D_{0,1})^{3,416} \text{ [kg.cm]} \dots\dots\dots (3)$$

Faktor perpangkatan pada persamaan-persamaan tersebut menunjukkan angka di atas nilai 1 (>1) sehingga pada periode tumpangsari sampai sekitar umur 65 bulan, biomassa batang masing-masing bagian berada pada fase pertumbuhan yang secara grafis menghasilkan kurva melengkung ke atas (mendekati sumbu y). Hal ini menunjukkan bahwa selama periode tumpangsari dengan pola tanam MR III, tegakan tumbuh secara cepat yang kemungkinan diakibatkan oleh belum terjadinya kompetisi tajuk terhadap cahaya matahari dan jarak tanam yang relatif lebar.



Gambar 3. Hubungan antara diameter batang ($D_{0,1}$) dengan biomassa batang (w_s), biomassa cabang (w_b) dan biomassa daun (w_l) pada tanaman jati yang dikelola dengan pola tanam MR III

Sejak Odum (1953) memperkenalkan teori bahwa tanaman adalah produsen primer dalam sistem ekologi, komunitas atau bagian dari itu, yang memainkan peran penting dalam menyerap energi cahaya, maka produktivitas lahan dianggap sebagai salah satu parameter ekosistem yang dapat diukur. Pembagian biomassa menurut fungsinya adalah salah satu cara memahami struktur alur energi (*the flux of energy*) dalam ekosistem dengan perantara (*agent*) utama dalam penyerapan energi adalah daun dalam proses fotosintesis. Dengan pembagian ini, maka dapat dijelaskan kemungkinan perbedaan struktur tajuk tanaman yang butuh cahaya akibat adanya perbedaan model pertaniannya. Pada pola tanam MR III pertumbuhan biomassa tanaman jati pada periode tumpangsari dapat dikelompokkan berdasarkan tahap-tahap pertumbuhan organ tanaman. Tahun-tahun awal merupakan periode uji coba untuk menghadapi adanya efek kompetisi dari tanaman penyerta (palawija). Periode 6 tahun pertama (65 bulan) merupakan periode tumbuh cepat (*fast growing*) setelah tanaman mampu beradaptasi dengan baik dengan lingkungannya. Hal yang menarik dari hasil penelitian ini adalah bahwa dalam pertanaman MR III, bagian organ non-fotosintesis tidak mendominasi berat biomassa tanaman pada tahun pertama (Tabel 1). Hal ini diperkirakan karena kebutuhan untuk menyerap energi cahaya secara maksimum, maka pohon terangsang untuk memproduksi organ fotosintesis. Sebab lain adalah adanya kompetisi dengan tanaman palawija untuk memperoleh cahaya matahari karena rata-rata pertumbuhan palawija relatif lebih cepat daripada tanaman jati. Sebagai catatan, sampai batas-batas tertentu petani diperbolehkan untuk menanam tanaman palawija di dalam jalur kehutanan pada periode tumpangsari ini. Pada tahap selanjutnya, setelah tanaman jati berumur lebih dari 2 tahun, maka proporsi organ non-fotosintesis meningkat. Hal ini berkaitan dengan pembentukan organ-organ berkayu sebagai hasil residu dari proses fotosintesis yang terakumulasi pada bagian batang dan cabang.

Secara keseluruhan, jika dibandingkan dengan studi sejenis oleh Kandya (1986) untuk pertanaman jati di India dan Lugo *et al.* (1988), pada MR III ini produk biomassa di atas permukaan tanah relatif lebih besar (Tabel 1). Pada pola tanam MR III ini diperkirakan tanaman pokok memperoleh manfaat positif dari pencampuran dengan tanaman palawija, sehingga pertumbuhannya relatif lebih cepat dibandingkan dengan pola tradisional. Hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan 1, 2 dan 3 menunjukkan bahwa produk biomassa di atas permukaan tanah untuk tanaman jati yang dikelola dengan pola tanam MR III pada periode tumpangsari adalah berturut-turut (0,0459 ($\pm 0,0175$); 5,097 ($\pm 0,6609$); dan 15,143 ($\pm 2,725$) ton/ha untuk umur 17, 41 dan 65 bulan.

Biomassa Perakaran dan Nisbah Akar/Pucuk (*root/shoot ratio*)

Studi tentang perakaran pada sistem agroforestry jarang dijumpai, meskipun para peneliti menyadari bahwa perakaran menentukan interaksi antarkomponen di

Tabel 1. Berat kering (ton/ha) dan persentase (angka dalam kurung) biomassa dari 3 tegakan jati yang dikelola dengan pola tanam MR III dibandingkan dengan hasil yang lain

Umur tegakan	17 bulan*	41 bulan*	65 bulan*	6 tahun**
Diameter batang (cm) * atau CDBI (cm) **	1,23 ¹	4,77	7,50	19,0
Tinggi (m)	0,56	4,78	7,24	4,50
Biomassa batang (ton/ha)	0,0222 (41,34)	3,753 (71,70)	12,518 (68,73)	4,5 (57,54)
Biomassa cabang (ton/ha)	0,0077 (14,34)	0,5220 (9,97)	3,336 (18,32)	1,9 (24,30)
Total organ non-fotosintesis (ton/ha)	0,0299 (55,67)	4,275 (81,67)	15,854 (87,05)	6,4 (81,84)
Biomassa daun (ton/ha)	0,0238 (44,32)	0,9593 (18,33)	2,134 (14,63)	1,4 (18,16)
Total biomassa di atas permukaan tanah (ton/ha)	0,0536	5,234	18,214	7,8
Nisbah biomassa organ non-fotosintesis terhadap organ fotosintesis	1,26	4,46	6,72	4,57

* Hasil penelitian dalam laporan ini pada pola tanam MR III (ton/ha)

** Kandya (1986) untuk pohon tunggal

¹ diameter batang pada posisi 0,0 m di atas tanah

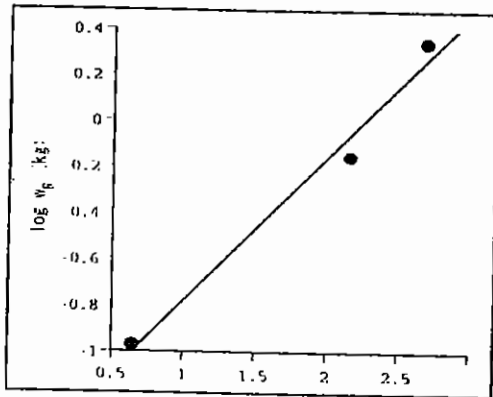
bawah permukaan tanah (Schroth, 1995). Permasalahan pada metodologi biasanya yang membatasi para peneliti untuk melakukan observasi secara menyeluruh pada bagian bawah permukaan tanah ini.

Pada penelitian ini dicoba metode destruktif untuk mengukur biomassa perakaran tanaman jati dengan pola tanam MR III, meskipun data hanya diperoleh dari 3 sampel pohon yang menghasilkan hubungan seperti terlihat pada Gambar 4. Data biomassa perakaran menghasilkan sebuah persamaan alometri sebagai berikut :

$$w_R = 0,0396 (D_{0,1}^{2H})^{0,6217} \quad [\text{kg, cm}^2\text{m}] \dots\dots\dots (4)$$

Secara eksplisit, persamaan 4 juga menunjukkan bahwa pertumbuhan perakaran tanaman pada periode tumpangsari berlangsung relatif lambat dibandingkan bagian atas permukaan tanah terlihat dari angka perpangkatan yang menghasilkan nilai kurang dari 1 (<1).

Secara lengkap, tanaman jati dengan pola tanam MR III ini menghasilkan biomassa perakaran 0,0501 ($\pm 0,0118$); 1,373 ($\pm 0,1259$) dan 2,838 ($\pm 0,3597$) ton/ha untuk umur 17, 41 dan 65 bulan. Selanjutnya jika dilihat rasio pertumbuhan tanaman, maka nisbah perakaran terhadap bagian atas tanaman (*root/shoot ratio*) menurun meskipun umur tanaman bertambah (Tabel 2). Hal ini memberikan pengertian bahwa akumulasi biomassa berada di atas tanah, sehingga sumbangan hara bagi ekosistem lebih tergantung kepada organ di bagian atas permukaan tanah daripada pelapukan perakaran. Di satu sisi, hal ini menimbulkan satu pertanyaan, apakah kompetisi tanaman pada pola tanam MR III ini sebagian besar terjadi di atas tanah, mengingat proporsi biomassa yang demikian besar.



Gambar 4. Hubungan antara diameter (D_{0L}) dan tinggi batang (H) terhadap biomassa akar (w_R) pada tanaman jati yang dikelola dengan pola tanam MR III

Penelitian ini tidak secara menyeluruh membandingkan produksi biomassa tanaman jati pada tiap-tiap model, sehingga belum bisa diambil kesimpulan apakah dengan pola tanam MR III ini benar-benar terjadi perbedaan struktur biomassa. Akan tetapi dengan gambaran tersebut di atas terbuka kemungkinan untuk pengamatan lebih lanjut tentang keuntungan dan kerugian secara ekosistem jika pola tanam MR III ini diterapkan. Demikian juga hasil ini bisa menjadi dasar untuk studi interaksi tanaman yang berguna untuk mengevaluasi peran masing-masing dalam ekosistem.

Tabel 2. Rekapitulasi data hasil pengukuran biomassa dan rasio perakaran terhadap bagian atas permukaan tanah pada tanaman jati yang dikelola dengan pola tanam MR III

Umur (bulan)	w_S t/ha	w_B t/ha	w_L t/ha	w_R t/ha	w_T t/ha	w_{TOT} t/ha	nisbah akar/pucuk
17	0,0222	0,0006	0,0238	0,0501	0,0459	0,1201	1,1395
(SD)	0,0095	0,0004	0,0064	0,0118	0,0175	0,0372	0,1723
41	3,7526	0,5219	0,9593	1,3732	5,0968	6,7686	0,2697
(SD)	0,4952	0,0847	0,1259	0,1673	0,6609	0,8531	0,0046
65	12,5175	3,3355	2,3594	2,8384	15,1426	16,7942	0,1890
(SD)	2,4500	0,9816	0,3839	0,3597	2,7252	2,5905	0,0119

w_S : biomassa batang
 w_B : biomassa cabang
 w_L : biomassa daun
 SD : standar deviasi
 w_R : biomassa akar
 w_T : total biomassa di atas permukaan tanah
 w_{TOT} : total biomassa di atas dan di bawah permukaan tanah

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan di atas, dari penelitian ini tersimpul beberapa hal penting sebagai berikut :

1. Produksi biomassa di atas permukaan tanah pada tanaman jati umur 17, 41 dan 65 bulan (atau 0 sampai 5 tahun) yang dikelola dengan pola tanam MR III selama periode tumpang-sari berkisar antara 0,0459 sampai 15,143 ton/ha dan menghasilkan biomassa perakaran antara 0,0501 sampai 2,838 ton/ha. Biomassa di atas permukaan tanah pada pola tanam MR III relatif lebih tinggi daripada hasil pengukuran serupa pada hutan tropis dan pohon tunggal di India.
2. Biomasa pada tegakan umur 17 bulan (di bawah umur 2 tahun) terakumulasi pada bagian organ fotosintesis, sedangkan umur 41 dan 65 bulan (di atas 2 tahun) pada organ non-fotosintesis. Adanya kompetisi dengan tanaman palawija untuk memperoleh cahaya matahari merangsang tanaman jati muda di bawah umur 2 tahun untuk memproduksi organ fotosintesis.
3. Berdasarkan nisbah akar/pucuk, maka sumbangan zat hara bagi ekosistem pada pola MR III ini terutama berasal dari organ di bagian atas permukaan tanah.

Rekomendasi

Penelitian ini perlu dilanjutkan dengan penelitian serupa pada pola tanam yang lain dan penelitian-penelitian yang mengarah kepada hubungan interaksi antarkomponen dalam ekosistem, sehingga dalam jangka panjang akan tersedia lebih banyak informasi untuk merancang pola tanam yang menguntungkan secara ekologi maupun ekonomi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada jajaran Perum Perhutani KPH Madiun, Pengelola Pilot Proyek Manajemen Regime (MR), para pembimbing dan rekan-rekan tenaga lapangan atas segala bantuannya sehingga terselesaikannya tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

Atmosocdaryo and K. Wijayakusumah, 1979. Ecological Aspect of Agroforestry in The Low land and Humid Tropics: Southeast Asia. In Chandler, T and David Spurgeon (ed.) Procceding of an International Conference in Agroforestry. ICRAF, Nairobi, Kenya, pp. 117-128

Chiba, Y. 1991. Plant Form Based on the Pipe Model Theory. II. Quantitative Analysis of Ramification in Morphology. *Ecol Res*. 6: 21-28

- Coleman, D.C. and Crossley Jr., D.A. 1996. *Fundamentals of soil ecology*. Academic Press Inc. California.
- Kandya, Anand Kumar. 1986. Determination of the Pattern of Tree Growth in *Tectona grandis* from Biomass Data in T. Fujimori and D. Whitehead (eds.): *Crown and Canopy Structure in Relation to Productivity*, pp 159 - 171. Forestry and Forest Products Research Institute, Ibaraki, Japan
- Lott, J.E., Howard, S.B., Black, C.R. and Ong, C.K. 2000. Allometric estimation of above-ground biomass and leaf area in managed *Grevillea robusta* agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 49: 1-15
- Lugo, A.E., Brown S. and Chapman J. 1988. An Analytical Review of Production Rates and Stem Biomass of Tropical Forest Plantations. *For.Ecol.Manage.* 23: 179-200
- Nagano, M. and Kira, T. 1978. Aboveground biomass in T. Kira, Y. Ono and T. Hosokawa (eds.): *Biological production in warm-temperate evergreen oak forest of Japan. JIBP Synthesis, vol. 18: 69-82.*
- Nair, P.K.R. 1993. *An Introduction to Agroforestry*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Nygren, P. Rebottaro, S. and Chavarria, R. 1993. Application of the pipe model theory to non-destructive estimation of leaf biomass and leaf area of pruned agroforestry trees. *Agroforestry Systems* 23: 63-67
- Odum, E.P. 1953. *Fundamentals of Ecology*. Philadelphia : Saunders
- Sanchez, P.A. 1995. Science in agroforestry. *Agroforestry Systems* 30: 5 - 55.
- Schroth, G. 1995. Tree root characteristics as criteria for species selection and system design in agroforestry. *Agroforestry Systems* 30: 125-143
- Shinozaki, K., Yoda, K., Hozumi, K and Kira, T. 1964a. A quantitative analysis of plant form - pipe model theory I. Basic analyses. *Jpn.J.Ecol.* 14: 97-105
- Shinozaki, K., Yoda, K., Hozumi, K and Kira, T. 1964b. A quantitative analysis of plant form - pipe model theory II. Further evidence of the theory and its application in forest ecology. *Jpn.J.Ecol.* 14: 133-139
- Simon, H. 1999. *Pengelolaan Hutan Bersama Rakyat (Cooperative Forest Management) : Teori dan Aplikasi pada Hutan Jati di Jawa*. BIGRAF Publishing, Yogyakarta, Indonesia (in Indonesian)
- Waring, R.H., P.E. Schroeder and R. Orcen. 1982. Application of the Pipe Model Theory to predict canopy leaf area. *Can.J.For.Res.* 12: 556-560
- West, P.W. and Wells K.F. 1990. Estimation of leaf weight standing trees of *Eucalyptus regnans*. *Can. J.For.Res.* 20: 1732-1738
- Young, Anthony. 1997. *Agroforestry for Soil Management* 2nd edition ICRAF Nairobi Kenya, and CAB International, UK, USA