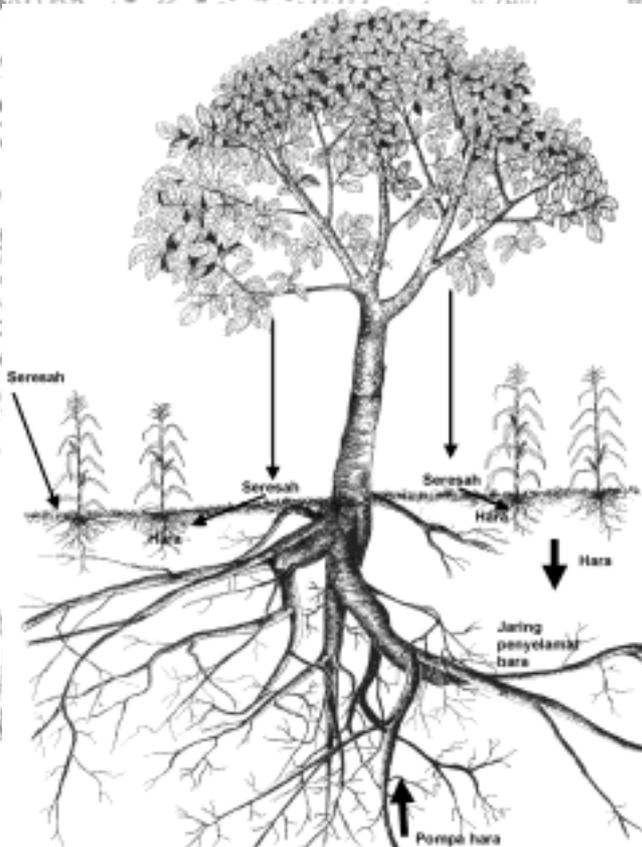


Peran Agroforestri pada Skala Plot:

Analisis Komponen Agroforestri sebagai Kunci Keberhasilan atau Kegagalan Pemanfaatan Lahan

Didik Suprayogo, Kurniatun Hairiah, Nurheni Wijayanto, Sunaryo dan Meine van Noordwijk



Bahan Ajaran 4

PERAN AGROFORESTRI
PADA SKALA PLOT:
Analisis Komponen Agroforestri
sebagai Kunci Keberhasilan atau
Kegagalan Pemanfaatan Lahan

Didik Suprayogo, Kurniatun Hairiah, Nurheni Wijayanto,
Sunaryo dan Meine van Noordwijk

Maret 2003

Bogor, Indonesia

Kritik dan saran dialamatkan kepada:

SRI RAHAYU UTAMI
Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya
Jl. Veteran, Malang 65145
Email: Safods.Unibraw@telkom.net

BRUNO VERBIST
World Agroforestry Centre (ICRAF)
Southeast Asia Research Office, Jl. CIFOR, Situgede, Bogor 16680
Email: B.Verbist@cgiar.org

Terbit bulan Maret 2003
© copyright World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia

Untuk tujuan kelancaran proses pendidikan, Bahan Ajaran ini bebas untuk difotocopi sebagian maupun seluruhnya.

Diterbitkan oleh:
World Agroforestry Centre (ICRAF)
Southeast Asia Regional Office
PO Box 161 Bogor, Indonesia
Tel: +62 251 625415, 625417; Fax: +62 251 625416; email: icraf-indonesia@cgiar.org

Ilustrasi cover: Wiyono
Tata letak: Tikah Atikah & DN Rini

AGROFORESTRI DAN EKOSISTEM SEHAT

Editor: Widiyanto, Sri Rahayu Utami dan Kurniatun Hairiah

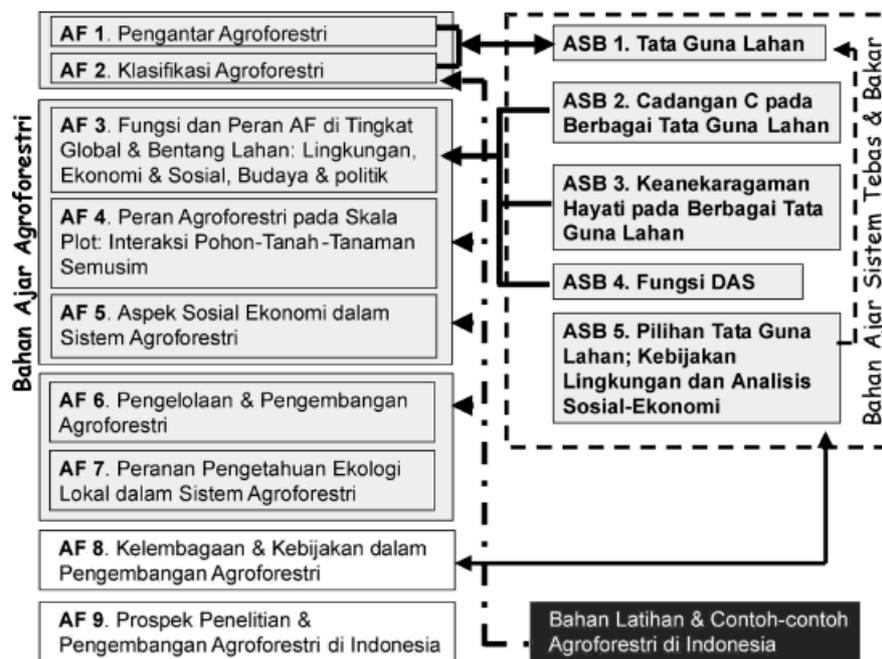
Pengantar

Alih-guna lahan hutan menjadi lahan pertanian disadari menimbulkan banyak masalah seperti penurunan kesuburan tanah, erosi, kepunahan flora dan fauna, banjir, kekeringan dan bahkan perubahan lingkungan global. Masalah ini bertambah berat dari waktu ke waktu sejalan dengan meningkatnya luas areal hutan yang dialih-gunakan menjadi lahan usaha lain. Agroforestri adalah salah satu sistem pengelolaan lahan yang mungkin dapat ditawarkan untuk mengatasi masalah yang timbul akibat adanya alih-guna lahan tersebut di atas dan sekaligus juga untuk mengatasi masalah pangan.

Agroforestri, sebagai suatu cabang ilmu pengetahuan baru di bidang pertanian dan kehutanan, berupaya mengenali dan mengembangkan keberadaan sistem agroforestri yang telah dipraktekkan petani sejak dulu kala. Secara sederhana, agroforestri berarti menanam pepohonan di lahan pertanian, dan harus diingat bahwa petani atau masyarakat adalah elemen pokoknya (subyek). Dengan demikian kajian agroforestri tidak hanya terfokus pada masalah teknik dan biofisik saja tetapi juga masalah sosial, ekonomi dan budaya yang selalu berubah dari waktu ke waktu, sehingga agroforestri merupakan cabang ilmu yang dinamis.

Sebagai tindak lanjut dari hasil beberapa pertemuan yang diselenggarakan oleh SEANAFE (*South East Asian Network for Agroforestry Education*) antara lain Workshop 'Pengembangan Kurikulum Agroforestri' di Wanagama-UGM (Yogyakarta) pada tanggal 27-30 Mei 2001, dan Workshop 'Pemantapan Kurikulum Agroforestri' di UNIBRAW (Malang) pada tanggal 12-13 November 2001, maka beberapa topik yang diusulkan dalam pertemuan tersebut dapat tersusun untuk mengawali kegiatan ini. Bahan Ajaran ini diharapkan dapat digunakan untuk mengenalkan agroforestri di tingkat Strata 1 pada berbagai perguruan tinggi. ICRAF SE Asia telah bekerjasama dengan dosen dari berbagai perguruan tinggi di Asia untuk menyiapkan dua seri Bahan Ajaran agroforestri berbahasa Inggris yang dilengkapi dengan contoh kasus dari Asia Tenggara. Seri pertama, meliputi penjelasan berbagai bentuk agroforestri di daerah tropika mulai dari yang sederhana hingga kompleks, fungsi agroforestri dalam konservasi tanah dan air, manfaat agroforestri dalam mereklamasi lahan alang-alang, dan domestikasi pohon. Seri kedua, berisi materi yang difokuskan pada kerusakan lingkungan akibat alih-guna lahan hutan menjadi lahan pertanian dan adanya kegiatan pembukaan lahan dengan cara *tebang bakar* atau biasa juga disebut dengan *tebas bakar*. Materi Bahan Ajaran ini diperoleh dari hasil-hasil penelitian proyek global tentang "*Alternatives to Slash and Burn*" (ASB) yang dikoordinir oleh ICRAF, sehingga contoh kasus yang dipakai tidak hanya dari Asia Tenggara tetapi juga dari negara tropis lainnya di Afrika dan Latin Amerika. Kedua Bahan Ajaran tersebut tersedia dalam web site <http://www.worldagroforestrycentre.org>. Sebagai usaha berikutnya dalam membantu proses pembelajaran di perguruan tinggi, seri buku ajar kedua diterjemahkan ke dalam bahasa Indonesia, Thailand, Vietnam dan dikembangkan sesuai dengan kondisi masing-masing negara.

Hampir bersamaan dengan itu ICRAF SE Asia juga telah mendukung penulisan Bahan Ajaran Pengantar Agroforestri secara partisipatif dengan melibatkan pengajar-pengajar (dosen) agroforestri dari beberapa perguruan tinggi di Indonesia. Penulisan Bahan Ajaran ini selain didasarkan pada bahan-bahan yang sudah dikembangkan oleh ICRAF SE Asia, juga diperkaya oleh para penulisnya dengan pengalaman di berbagai lokasi di Indonesia. Bahan Ajaran Pengantar Agroforestri ini terdiri dari 9 bab, yang secara keseluruhan saling melengkapi dengan Bahan Ajaran agroforestri seri ASB (secara skematis disajikan pada Gambar 1). Dalam gambar ini ditunjukkan hubungan antara kesembilan bab Bahan Ajaran Pengantar Agroforestri (kelompok sebelah kiri) dengan Bahan Ajaran seri ASB yang berada di kelompok sebelah kanan (dalam kotak garis putus-putus).



Gambar 1. Topik-topik Bahan Ajaran berbahasa Indonesia yang disiapkan untuk pembelajaran di Perguruan Tinggi di Indonesia. Bahan Ajaran ini akan segera tersedia di ICRAF web site <http://www.worldagroforestrycentre.org>

Dari kedua seri Bahan Ajaran ini kita coba untuk menjawab lima pertanyaan utama yaitu: (1) Apakah ada masalah dengan sumber daya alam kita? (2) Sistem apa yang dapat kita tawarkan dan apa yang dimaksud dengan agroforestri? (3) Adakah manfaatnya? (4) Apa yang dapat kita perbaiki? (5) Bagaimana prospek penelitian dan pengembangan agroforestri di Indonesia?

Bahan Ajaran ini diawali dengan memberikan pengertian tentang agroforestri, sejarah perkembangannya dan macam-macamnya serta klasifikasinya disertai dengan contoh sederhana (Bahan Ajaran Agroforestri (AF) 1 dan 2).

Secara umum agroforestri berfungsi protektif (yang lebih mengarah kepada manfaat biofisik) dan produktif (yang lebih mengarah kepada manfaat ekonomis). Manfaat agroforestri secara biofisik ini dibagi menjadi dua level yaitu level bentang lahan atau global dan level plot. Pada level global meliputi fungsi agroforestri dalam konservasi tanah dan air, cadangan karbon (C stock) di daratan, mempertahankan keanekaragaman hayati. Kesemuanya ini dibahas pada Bahan Ajaran AF 3, sedang ulasan lebih mendalam dapat dijumpai dalam Bahan Ajaran ASB 2, 3, dan 4. Untuk skala plot, penulisan bahan ajar lebih difokuskan pada peran pohon dalam mempertahankan kesuburan tanah

walaupun tidak semua pohon dapat memberikan dampak yang menguntungkan. Untuk itu diperlukan pemahaman yang dalam akan adanya interaksi antara pohon-tanah dan tanaman semusim. Dasar-dasar proses yang terlibat dalam sistem agroforestri ini ditulis di Bahan Ajaran AF 4. Selain itu, agroforestri juga sebagai sistem produksi sehingga mahasiswa dituntut untuk menguasai prinsip-prinsip analisis ekonomi dan finansial, yang dapat diperoleh di Bahan Ajaran AF 5.

Di Indonesia agroforestri sering juga ditawarkan sebagai salah satu sistem pertanian yang berkelanjutan. Namun dalam pelaksanaannya tidak jarang mengalami kegagalan, karena pengelolaannya yang kurang tepat. Guna meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam mengelola agroforestri, diperlukan paling tidak tiga ketrampilan utama yaitu: (a) mampu menganalisis permasalahan yang terjadi, (b) merencanakan dan melaksanakan kegiatan agroforestri, (c) monitoring dan evaluasi kegiatan agroforestri. Namun prakteknya, dengan hanya memiliki ketiga ketrampilan tersebut di atas masih belum cukup karena kompleksnya proses yang terjadi dalam sistem agroforestri. Sebelum lebih jauh melakukan inovasi teknologi mahasiswa perlu memahami potensi dan permasalahan yang dihadapi oleh praktek agroforestri (diagnosis). Selanjutnya, untuk menyederhanakan interpretasi proses-proses yang terlibat maka diperlukan alat bantu simulasi model agroforestri, yang dapat dijumpai di Bahan Ajaran AF 6.

Banyak hasil penelitian diperoleh untuk memecahkan masalah yang timbul di lapangan, tetapi usaha ini secara teknis seringkali mengalami kegagalan. Transfer teknologi dari stasiun penelitian ke lahan petani seringkali hanya diadopsi sebagian atau bahkan tidak diadopsi sama sekali oleh petani. Berangkat dari pengalaman pahit tersebut di atas, dewasa ini sedang berlangsung pergeseran paradigma lebih mengarah ke partisipasi aktif petani baik dalam penelitian dan pembangunan. Dengan demikian pada Bahan Ajaran AF 7 diberikan penjelasan pentingnya memasukkan pengetahuan ekologi lokal dalam pemahaman dan pengembangan sistem agroforestri. Selanjutnya dalam Bahan Ajaran AF 8 diberikan pemahaman akan pentingnya kelembagaan dan kebijakan sebagai landasan pengembangan agroforestri yang berkelanjutan, dan analisis atas aspek kelembagaan dan kebijakan pemerintah dalam pengembangan agroforestri.

Telah disebutkan di atas bahwa agroforestri adalah praktek lama di Indonesia, tetapi agroforestri merupakan cabang ilmu pengetahuan baru. Bagaimana prospek penelitian dan pengembangannya di Indonesia? Mengingat kompleksnya sistem agroforestri, maka paradigma penelitian agroforestri berubah dari level plot ke level bentang lahan atau bahkan ke level global. Bahan Ajaran AF 9, memberikan gambaran tentang macam-macam penelitian agroforestri yang masih diperlukan dan beberapa pendekatannya.

Setelah dirasa cukup memahami konsep dasar agroforestri dan pengembangannya, maka mahasiswa ditunjukkan beberapa contoh agroforestri di Indonesia: mulai dari cara pandang sederhana sampai mendalam. Melalui contoh yang disajikan bersama dengan beberapa pertanyaan, diharapkan mahasiswa mampu mengembangkan lebih lanjut dengan pengamatan, analisis dan bahkan penelitian tentang praktek-praktek agroforestri di lingkungan masing-masing. Mengingat keragaman yang ada di Indonesia, masih terbuka kesempatan bagi para mahasiswa untuk menggali sistem agroforestri yang berbeda dengan yang disajikan dalam Bahan Ajaran ini.

Ucapan terima kasih

Seri Bahan Ajaran Pengantar Agroforestri ini disusun oleh beberapa orang tenaga pengajar (dosen) dari empat universitas di Indonesia (Institut Pertanian Bogor, Universitas Gajah Mada, Universitas Mulawarman, dan Universitas Brawijaya) yang bekerjasama dengan beberapa orang peneliti dari dua lembaga penelitian internasional yaitu World Agroforestry Centre (ICRAF-SE Asia) dan Centre of International Forestry Research (CIFOR), Bogor. Sebenarnya, proses penyusunan Bahan Ajaran ini sudah berlangsung cukup lama dan dengan memberi kesempatan kepada tenaga pengajar dari berbagai perguruan tinggi di Indonesia. Namun, minimnya tanggapan dari berbagai pihak menyebabkan hanya beberapa tenaga dari empat perguruan tinggi dan dua lembaga penelitian tersebut yang berpartisipasi.

Penghargaan yang setinggi-tingginya disampaikan kepada rekan-rekan penulis: Sambas Sabarnurdin (UGM), Mustofa Agung Sarjono (UNMUL), Hadi Susilo Arifin (IPB), Leti Sundawati (IPB), Nurheni Wijayanto (IPB), Didik Suharjito (IPB), Tony Djogo (CIFOR), Didik Suprayogo (UNIBRAW), Sunaryo (UNIBRAW), Meine van Noordwijk (ICRAF SE Asia), Laxman Joshi (ICRAF SE Asia), Bruno Verbist (ICRAF SE Asia) dan Betha Lusiana (ICRAF SE Asia) atas peran aktifnya dalam penulisan Bahan Ajaran ini. Suasana kekeluargaan penuh keakraban yang terbentuk selama penyusunan dirasa sangat membantu kelancaran jalannya penulisan. Semoga keakraban ini tidak berakhir begitu saja setelah tercetaknya Bahan Ajaran ini.

Bahan Ajaran ini disusun berkat inisiatif, dorongan dan bantuan rekan Bruno Verbist yang selalu bersahabat, walaupun kadang-kadang beliau harus berhadapan dengan situasi yang kurang bersahabat.

Bantuan Ibu Tikah Atikah, Dwiati Novita Rini dan Pak Wiyono dari ICRAF SE Asia Bogor dalam pengaturan tata letak teks dan pembuatan ilustrasi untuk Bahan Ajaran ini sangat dihargai.

Dukungan finansial penyusunan Bahan Ajaran ini diperoleh dari Pemerintah Belanda melalui "**Proyek Bantuan Langsung Pendidikan**" di Indonesia (*DSO, Directe Steun Onderwijs*).

Penutup

Bahan Ajaran bukan merupakan bahan mati, isinya harus dinamis sesuai dengan perkembangan ilmu, teknologi dan kebutuhan. Oleh karena itu, dengan terselesaikannya Bahan Ajaran ini bukan berarti tugas kita sebagai pengajar juga telah berakhir. Justru dengan terbitnya Bahan Ajaran ini baru nampak dan disadari oleh para penulis bahwa ternyata masih banyak materi penting lainnya yang belum tertuang dalam seri Bahan Ajaran ini. Para penulis sepakat untuk terus mengadakan pembaharuan dan pengembangan bilamana masih tersedia kesempatan. Demi kesempurnaan Bahan Ajaran ini, kritik dan saran perbaikan dari pengguna (dosen dan mahasiswa), peneliti maupun anggota masyarakat lainnya sangat dibutuhkan.

Semoga buku ini dapat membantu kelancaran proses pembelajaran agroforestri di perguruan tinggi di Indonesia, dan semoga dapat memperbaiki tingkat pengetahuan generasi muda yang akan datang dalam mengelola sumber daya alam.

Bogor, pertengahan Maret 2003
Editor

PERAN AGROFORESTRI PADA SKALA PLOT

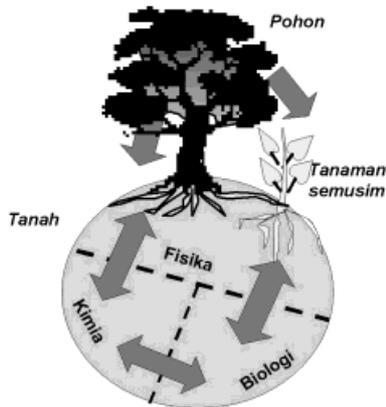
DAFTAR ISI

1. APA PERAN PENTING AGROFORESTRI PADA SKALA PLOT?	1
1.1 Perbaikan kesuburan tanah oleh agroforestri	3
1.2 Mengurangi kehilangan hara	7
1.3 Peningkatan ketersediaan N dalam tanah bila pohon yang ditanam dari keluarga leguminosae	9
1.4 Mempertahankan sifat fisik tanah	10
1.5 Mengurangi bahaya erosi	12
1.6 Menekan serangan hama & penyakit	13
1.7 Menjaga kestabilan iklim mikro dan menekan populasi gulma	13
2. APAKAH AGROFORESTRI SELALU MENGUNTUNGKAN?	14
3. INTERAKSI POHON-TANAH-TANAMAN SEMUSIM	15
3.1 Konsep interaksi	15
3.2 Interaksi pohon-tanah-tanaman semusim	16
<i>Proses terjadinya interaksi: langsung atau tidak langsung</i>	16
<i>Faktor penyebab terjadinya interaksi</i>	17
4. BAGAIMANA MENGANALISA INTERAKSI POHON DAN TANAMAN SEMUSIM SECARA KUANTITATIF?	20
4.1 Pengaruh positif dan negatif	20
4.2 Apakah sistem agroforestri menguntungkan bila dibandingkan dengan tanaman semusim monokultur atau pohon monokultur?	20
<i>Model mulsa dan naungan (Mulch + shade model)</i>	21
<i>Model penggunaan air hara cahaya (WaNulCas: Water Nutrient Light Capture)</i>	21
4.3 Bagaimana cara menganalisis dan mensintesis interaksi pohon-tanah-tanaman semusim pada sistem agroforestri?	23
4.4 Mengukur efisiensi sistem agroforestri	24
<i>Bagaimana merancang percobaan di lapangan untuk memisahkan pengaruh positif dan negatif pohon</i>	24
4.5 Hasil dan keterbatasan model	26
5. MENGELOLA INTERAKSI POHON-TANAH-TANAMAN SEMUSIM	27
6. KESIMPULAN	30
BAHAN BACAAN	31

PERAN AGROFORESTRI PADA SKALA PLOT:

ANALISIS KOMPONEN AGROFORESTRI SEBAGAI KUNCI KEBERHASILAN ATAU KEGAGALAN PEMANFAATAN LAHAN

Didik Suprayogo, Kurniatun Hairiah, Nurheni Wijayanto, Sunaryo dan Meine van Noordwijk



TUJUAN:

1. Mengetahui dan memahami peran positif dan negatif agroforestri pada skala plot.
2. Memahami konsep interaksi antara pohon dengan tanaman non-pohon (semusim) yang ditanam pada tempat dan waktu yang sama—ditinjau dari penggunaan cahaya (untuk bagian atas tanaman), air dan hara (akar).
3. Mendapatkan gambaran cara pengujian adanya interaksi pohon-tanah-tanaman non-pohon pada sistem agroforestri di lapangan.

1. Apa peran penting agroforestri pada skala plot?

Agroforestri merupakan suatu sistem penggunaan lahan yang cukup unik, yang mencoba mengkombinasikan beberapa macam pohon baik dengan atau tanpa tanaman semusim ataupun ternak, pada lahan yang sama untuk mendapatkan berbagai macam keuntungan. Jadi pada dasarnya, agroforestri mempunyai beberapa komponen penyusun utama yaitu pohon (tanaman berkayu), tanaman non-pohon, ternak dan manusia; dan masing-masing komponen saling berinteraksi satu sama lain. Keuntungan yang diharapkan dari sistem agroforestri ini ada dua yaitu produksi dan pelayanan lingkungan, seperti yang dinyatakan oleh Ong (1996) dengan mensitir pernyataan Kidd dan Pimentel (1992), bahwa “Sistem agroforestri dapat menggantikan fungsi ekosistem hutan sebagai pengatur siklus hara dan pengaruh positif terhadap lingkungan lainnya, dan di sisi lain dapat memberikan keluaran hasil yang diberikan dalam sistem pertanian tanaman semusim”.

Agroforestri mempunyai banyak bentuk, bila ditinjau dari segi waktu dan ruang. Ditinjau dari segi waktu, dua komponen agroforestri yang berbeda dapat ditanam bersamaan atau bergiliran. Bila ditinjau dari segi ruang agroforestri mencakup dua dimensi yaitu vertikal dan horizontal. Pada dimensi vertikal, peran agroforestri terutama berhubungan erat dengan pengaruhnya terhadap ketersediaan hara, penggunaan dan penyelamatan (*capture*) sumber daya alam. Oleh karena itu, bila kita berbicara tentang fungsi agroforestri, maka kita harus pertimbangkan juga skala ruangnya (*spatial scale*) yang kondisinya sangat berbeda baik pada tingkat plot, lahan maupun area yang lebih luas yaitu daerah aliran sungai (DAS, *watershed*). Keterangan lebih jelas dapat dilihat dalam Bahan Ajaran 3. Untuk memahami peran agroforestri pada skala plot ini

diperlukan pemahaman tentang proses-proses yang terlibat di dalamnya, yang terjadi pada skala waktu yang berbeda: jangka pendek (jam, atau hari) misalnya untuk proses kompetisi, minggu atau bulan untuk masukan bahan organik lewat daun yang jatuh, akumulasi per bulan, misalnya untuk akumulasi bahan organik tanah, atau pada ukuran tahun atau bahkan dekade bila berhubungan dengan keberlanjutan (*sustainability*) suatu sistem.

Untuk mempermudah dalam memahami proses-proses yang terlibat dalam sistem campuran lihat Gambar 1. Dari Gambar 1 tersebut dapat dipelajari bahwa dalam sistem agroforestri ada tiga zona yang terlibat dalam interaksi pohon-tanah-tanaman non-pohon, yaitu: Zona A (zona interaksi di atas tanah), Zona B (zona lapisan tanah atas yang merupakan interaksi antara beberapa akar tanaman), Zona C (zona lapisan tanah bawah yang didominasi oleh akar dari satu macam tanaman).

Zona A (di atas permukaan tanah)

Pohon memberikan pengaruh positif terhadap tanaman lainnya, baik untuk jangka pendek maupun jangka panjang. (a) Untuk jangka pendek, pohon memberikan naungan parsial yang kadang-kadang menguntungkan tanaman non-pohon yang ditanam bersamaan. (b) Untuk jangka panjang, agroforestri memperbaiki kesuburan tanah melalui seresahnya yang jatuh ke permukaan tanah. Pada zona ini pohon juga memberikan pengaruh merugikan tanaman semusim tergantung pada bentuk dan sebaran kanopi serta waktu aktivitas kanopi.

Zona B (zona lapisan tanah atas)

Agroforestri memberikan keuntungan melalui: (a) peningkatan daerah jelajah akar dan masukan bahan organik lewat akar yang mati (b) peningkatan ketersediaan P, melalui simbiosis akar pohon dengan mikoriza, (c) peningkatan ketersediaan N dalam tanah bila akar leguminosae bersimbiosis dengan rizhobium, (d) untuk jangka panjang, memperbaiki sifat fisik tanah seperti perbaikan struktur tanah, meningkatkan kemampuan menyimpan air (*water holding capacity*) melalui pembentukan pori makro akibat aktivitas akar dan biota, sehingga mengurangi limpasan permukaan, pencucian, dan erosi. Pada zona ini, ada kemungkinan terjadi kompetisi akan air dan hara oleh beberapa akar tanaman.

Zona C (zona lapisan tanah bawah)

Agroforestri memberikan keuntungan melalui: peningkatan efisiensi serapan hara melalui sebaran akar yang dalam.

**Perbaikan sistem
pencahayaan pada
tingkat sistem**



Gambar 1. Interaksi antara pohon-tanah-tanaman non-pohon yang muncul sebagai akibat pencampuran dua komponen agroforestri yang berbeda (Huxley, 1999).

Pertanyaan

- Bagaimana cara anda mengenali bahwa pohon memperbaiki kesuburan tanah?
- Bagaimana mekanismenya?

1.1 Perbaikan kesuburan tanah oleh agroforestri

Penerapan sistem agroforestri tradisional maupun modern sangat terkait dengan komponen tanah dan pengelolannya. Beberapa sistem pertanian tradisional misalnya 'ladang berpindah' dan sistem multistrata pohon (kebun campuran) seringkali terpaksa dilakukan untuk tujuan pemulihan dan pemeliharaan kesuburan tanah. Penerapan sistem penggunaan lahan dengan memasukkan komponen pepohonan atau agroforestri dapat memberikan beberapa keuntungan terhadap tanah. Menurut Young (1997) ada empat keuntungan yang diperoleh melalui penerapan agroforestri antara lain adalah: (1) memperbaiki kesuburan tanah, (2) menekan terjadinya erosi (3) mencegah perkembangan hama dan penyakit, (4) menekan populasi gulma.

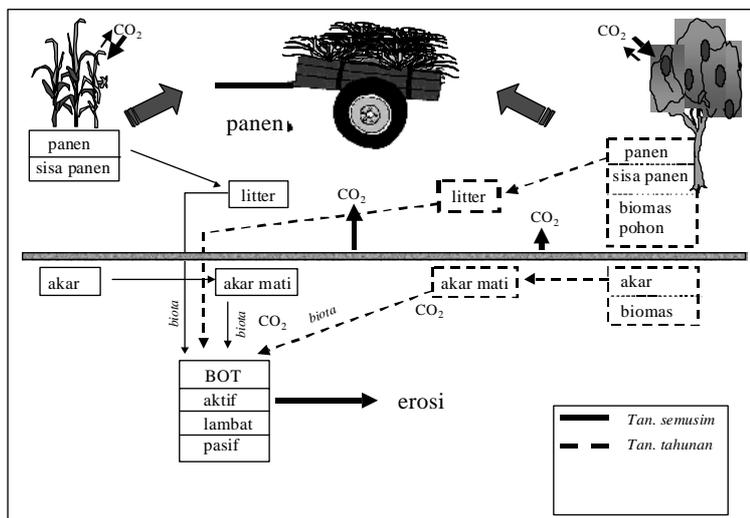
Peran utama agroforestri pada skala plot adalah dalam mempertahankan kesuburan tanah, antara lain melalui empat mekanisme: (1) mempertahankan kandungan bahan organik tanah, (2) mengurangi kehilangan hara ke lapisan tanah bawah, (3) menambah N dari hasil penambatan N bebas dari udara, (4) memperbaiki sifat fisik tanah,

Mempertahankan kandungan bahan organik tanah:

Pepohonan, tanaman semusim (bila ada) dan gulma dalam sistem agroforestri memberikan masukan bahan organik sepanjang tahun melalui daun, ranting dan cabang yang telah gugur di atas permukaan tanah, yang selanjutnya bagian tanaman yang telah mati ini disebut dengan seresah (*litter*). Di bagian bawah (dalam tanah), pepohonan memberikan masukan bahan organik melalui akar-akar yang telah mati, tudung akar yang mati, eksudasi akar dan respirasi akar. Bahan organik sebagian besar (45%) tersusun oleh karbon (C), maka untuk menyatakan kandungan bahan organik tanah biasanya dinyatakan dengan kandungan total C (-C-organik).

Siklus karbon pada skala plot

Kebanyakan CO₂ di udara dipergunakan oleh tanaman selama fotosintesis dan memasuki ekosistem melalui seresah tanaman yang jatuh dan selanjutnya terjadi akumulasi karbon (C) dalam biomasa (tajuk) tanaman. Separuh dari jumlah C yang diserap dari udara bebas tersebut diangkut ke bagian akar berupa karbohidrat dan masuk ke dalam tanah melalui akar-akar yang mati. Untuk membantu dalam memahami siklus C pada skala plot, alur skematis disajikan dalam Gambar 2. Pada prinsipnya ada 3 *pool* utama pemasok C ke dalam tanah yaitu: (a) tajuk tanaman pohon dan tanaman semusim yang masuk sebagai seresah dan sisa panen; (b) akar tanaman, melalui akar-akar yang mati, ujung-ujung akar, eksudasi akar dan respirasi akar; (c) biota.



Gambar 2. Siklus karbon di dalam sistem agroforestri pada skala plot.

Seresah dan akar-akar mati yang masuk ke dalam tanah akan segera dirombak oleh biota heterotrop, dan selanjutnya memasuki *pool* bahan organik tanah (BOT). *Pool* BOT ini dibedakan menjadi 3 yaitu (a) *pool* aktif adalah bahan organik yang sangat cepat dilapuk, misalnya isi sel tanaman, mikrobia tanah (b) *pool* lambat adalah BOT yang telah lapuk sebagian dan (c) *pool* pasif adalah BOT yang telah ada dalam tanah sangat lama dan sangat lambat dilapuk, misalnya humus.

Sedangkan kehilangan C dari dalam tanah dapat melalui (a) respirasi tanah, (b) respirasi tanaman, (c) terangkut panen, (d) dipergunakan oleh biota, (e) erosi.

Fungsi Bahan Organik Tanah (BOT)

Bahan organik tanah berperan sangat penting dalam kesuburan tanah, baik sifat kimia, fisika maupun biologi tanah. Dari segi kimia, BOT berperan penting dalam menambah unsur hara dan meningkatkan kapasitas tukar kation (penyangga hara = *buffer*). Meningkatnya kapasitas tukar kation tanah ini dapat mengurangi kehilangan unsur hara yang ditambahkan melalui pemupukan, atau dari hasil mineralisasi BOT, sehingga BOT dapat meningkatkan efisiensi pemupukan.

Dari segi fisika tanah, tingginya kandungan BOT dapat mempertahankan kualitas sifat fisik tanah sehingga membantu perkembangan akar tanaman dan kelancaran siklus air tanah antara lain melalui pembentukan pori tanah dan kemandapan agregat tanah. Dengan demikian jumlah air hujan yang dapat masuk ke dalam tanah (infiltrasi) semakin meningkat sehingga mengurangi aliran permukaan dan erosi. Selain itu bahan organik mampu mengikat air dalam jumlah besar, sehingga dapat mengurangi jumlah air yang hilang.

Dari segi biologi tanah, bahan organik tanah juga memberikan manfaat biologi melalui penyediaan energi bagi berlangsungnya aktivitas organisme, sehingga meningkatkan kegiatan organisme mikro maupun makro di dalam tanah.

Bagaimana agroforestri dapat mempertahankan kandungan bahan organik tanah?

Agroforestri dapat mempertahankan kandungan bahan organik tanah melalui:

a. Masukan bahan organik dari hasil pangkasan pohon

Pada musim penghujan, petani sering juga melakukan pemangkasan cabang dan ranting pohon yang sudah terlalu tinggi sehingga keberadaannya tidak akan mengganggu pertumbuhan tanaman lainnya.

Hasil pangkasan bisa dikembalikan ke dalam tanah atau diangkut ke luar plot untuk pakan ternak atau untuk tujuan lainnya. Jumlah hasil pangkasan yang dikembalikan ke dalam plot tidak kalah besarnya dengan jumlah seresah yang masuk lewat daun yang gugur. Dari Tabel 1 dapat diketahui banyaknya masukan bahan organik dari hasil pangkasan cabang dan ranting berbagai macam pohon dalam sistem budidaya pagar (= *hedgerow intercropping*) yaitu sekitar 4-10 Mg ha⁻¹ th⁻¹. Beberapa jenis tanaman pagar dari keluarga leguminosae yang ditanam yaitu *Calliandra* dapat memberikan hasil biomasa tertinggi dibanding jenis pohon lainnya, dan hasil pangkasan terendah diberikan oleh dadap minyak (*Erythrina*). Bahan organik hasil pangkasan tersebut mengandung N berkisar antara 100-270 kg N ha⁻¹, yang berarti sama dengan memperoleh pupuk urea sekitar 200-400 kg ha⁻¹. Bila ditinjau dari besarnya masukan bahan organik asal pangkasan ini, nampaknya sistem budidaya pagar dapat memberikan harapan baru bagi petani dalam mengelola kesuburan tanah di lahannya. Tetapi sistem ini tampaknya kurang diminati atau disukai petani, mengapa?

Tabel 1. Total masukan biomasa tajuk rata-rata per tahun yang merupakan hasil pangkasan rata-rata tiga kali setahun, kandungan N daun dan total masukan N ke dalam tanah (Hairiah *et al.*, 2001).

Jenis tanaman	Berat Kering Tajuk (ton ha ⁻¹)	N (%)	N-total (kg ha ⁻¹)
Dadap (<i>Erythrina</i>)	4,5	2,4	108
Lamtoro (<i>Leucaena</i>)	6,0	3,0	180
Gamal (<i>Gliricidia</i>)	8,0	2,9	232
Petaian (<i>Peltophorum</i>)	8,0	1,7	136
Gamal/petaian	8,0	2,7	216
<i>Calliandra</i>	10,0	2,7	270

b. Masukan dari seresah

Tanaman memberikan masukan bahan organik melalui daun-daun, cabang dan rantingnya yang gugur, dan juga melalui akar-akarnya yang telah mati.

Contoh dari tanah masam di Lampung Utara, pohon petaian (*Peltophorum*) monokultur memberikan masukan seresah (daun, batang, ranting yang jatuh) sekitar 12 Mg ha⁻¹ th⁻¹; gamal (*Gliricidia*) monokultur sekitar 5 Mg ha⁻¹ th⁻¹.

Sedang hutan sekunder memberikan masukan sekitar 8-9 Mg ha⁻¹ th⁻¹.

Seresah yang jatuh di permukaan tanah dapat melindungi permukaan tanah dari pukulan air hujan dan mengurangi penguapan. Tinggi rendahnya peranan seresah ini ditentukan oleh 'kualitas' bahan organik tersebut. Semakin rendah 'kualitas' bahan (bila nisbah C/N, lignin/N dan polifenol/N tinggi), maka semakin lama pula bahan tersebut dilapuk, sehingga terjadi akumulasi seresah yang cukup tebal pada permukaan tanah hutan. Wasrin *et al.* (1997)

melaporkan akumulasi bahan organik pada permukaan tanah pada berbagai sistem berbasis pohon (Tabel 2). Pada sistem berbasis pohon ini akumulasi seresah pada permukaan tanah bervariasi antara 3-7 ton ha⁻¹. Bila kandungan C dalam biomasa sekitar 45%, maka masukan C ke dalam tanah sekitar 1,5 – 3 ton ha⁻¹. Adanya penebangan hutan meningkatkan jumlah akumulasi seresah terutama dalam bentuk kayu mati (cabang dan ranting).

Tabel 2. Biomasa seresah pada permukaan tanah berbagai sistem penggunaan lahan berbasis pohon di Jambi (Wasrin *et al.*, 1997).

Sistem Penggunaan Lahan	Berat Kering Seresah, ton ha ⁻¹		Total ton ha ⁻¹
	Pohon	Non-pohon	
Hutan Primer di Pasir Mayang	1,72	2,23	3,95
Hutan Primer di Rantau Pandan	0,98	1,80	2,78
Hutan Bekas tebangan (logged over forest)	2,88	3,06	5,94
HTI monokultur (sengon)	3,09	4,14	7,23
Agroforest Karet (20 th)	0,74	1,80	2,54
Agroforest Karet	0,93	1,35	2,28
Kebun durian	2,25	3,16	5,41
Kebun karet muda (5 th)	1,56	2,38	3,94
Hutan alami sekunder	2,96	3,07	6,03

c. Masukan ternak (bila ada)

Peran hewan atau ternak dalam sistem agroforestri masih dianggap kontroversi: di satu sisi ternak merupakan komponen penting dalam pertanian berkelanjutan tetapi di sisi lain dianggap sebagai penyebab deforestasi hutan tropis. Jika ternak tidak dipelihara dengan baik atau dipelihara pada kondisi ekosistem yang marginal, memang dapat menyebabkan kerusakan lingkungan.

Pada umumnya ternak menghasilkan kotoran (*manure*), yang selanjutnya akan termineralisasi sehingga bisa menambah unsur hara khususnya N dan P yang dibutuhkan oleh tanaman. Yang termasuk dalam *manure* adalah kotoran cair (*urine*), kotoran padat (*faeces*), dan sisa-sisa pakan yang tercampur menjadi satu.

Ternak dalam berbagai sistem pertanian menjadi salah satu komponen yang memberikan penghasilan cukup besar bagi petani, antara lain: ternak dapat berfungsi sebagai tabungan yang sewaktu-waktu bisa dijual bila petani memerlukan uang tunai untuk berbagai keperluan mendadak. Ternak kecil (misalnya unggas) dapat dikonsumsi sewaktu-waktu merupakan sumber protein hewani bagi petani. Ternak besar (kuda, sapi dan kerbau) juga menjadi sumber penghasil tenaga baik untuk menarik bajak maupun untuk pengangkutan dan transportasi.

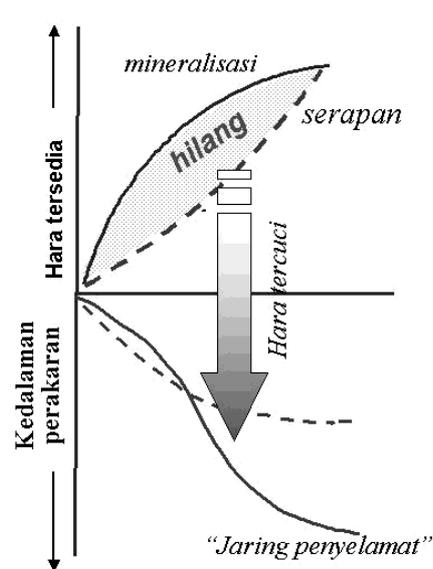
Berapa jumlah masukan bahan organik yang dibutuhkan?

Telah disebutkan di atas bahwa masukan bahan organik dari atas permukaan tanah memberikan pengaruh yang menguntungkan untuk mempertahankan kesuburan tanah terutama di lapisan atas. Untuk mendapatkan kondisi tanah yang optimal bagi pertumbuhan tanaman, diperlukan adanya bahan organik tanah (C_{total}) di lapisan atas paling sedikit 2% (Young, 1989). Jumlah tersebut hanya didasarkan pada taksiran kasar saja. Jumlah tersebut harus dikoreksi oleh kandungan liat dan pH tanah. Dengan demikian target kandungan BOT yang optimal ini bervariasi untuk berbagai macam tanah, tergantung pada tekstur dan pH nya. Untuk itu Van Noordwijk, 1989 menyarankan target rata-rata kandungan BOT untuk berbagai jenis tanah di daerah tropika sebaiknya sekitar 2,5-4%. Guna mempertahankan kesuburan tanah pertanian, maka tanah harus selalu ditambah bahan organik minimal sebanyak 8-9 ton $ha^{-1} th^{-1}$ (Young, 1989). Lalu dari mana dan bagaimana mendapatkan bahan organik untuk memenuhi kebutuhan tersebut?

1.2 Mengurangi Kehilangan Hara

Salah satu permasalahan yang umum dijumpai di lahan pertanian di daerah tropika basah adalah rendahnya efisiensi penggunaan hara akibat proses pencucian unsur hara yang sangat tinggi. Hal ini terjadi karena rendahnya tingkat sinkronisasi antara saat tersedianya hara dengan saat tanaman membutuhkannya, sehingga bila ada curah hujan yang tinggi menyebabkan unsur hara yang tidak terambil oleh tanaman, akan hanyut ke lapisan tanah bawah (lihat Gambar 3). Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa sistem pertanian di daerah tropika basah sering mengalami "kebocoran" hara. Dengan agroforestri kehilangan hara ini diharapkan dapat diperkecil, karena adanya akar pepohonan yang umumnya tumbuh lebih dalam dapat menyerap unsur hara yang hanyut tersebut. Semakin dalam dan berkembang perakaran pohon tersebut semakin banyak unsur hara yang dapat diselamatkan, sehingga akar pepohonan ini menyerupai jaring yang akan menangkap unsur hara yang mengalir ke lapisan bawah, fungsi ini dinamakan sebagai "**jaring penyelamat hara**". Contoh: petaian (*Peltophorum dasyrrachis*) yang ditanam di sela-sela jagung (lihat Gambar 4 dalam kolom 1).

Pada tanah subur, akar pohon yang menyebar dalam dapat berperan sebagai "*pemompa hara*", yaitu menyerap hara hasil pelapukan mineral/batuan induk pada lapisan bawah. Namun hal ini masih bersifat hipotesis, dan masih perlu penelitian lebih lanjut.



Gambar 3. Skematis sinkronisasi ketersediaan hara dan saat tanaman membutuhkan serta ke dalam perakaran yang dibutuhkan

Kolom 1: Contoh kasus akar pohon dapat menekan kebocoran nitrogen

Tinggi rendahnya peranan akar pohon sebagai jaring penyelamat hara ditentukan oleh tiga hal: (a) ketersediaan hara dalam tanah, (b) ke dalam perakaran, (c) kerapatan akar pada lapisan bawah.

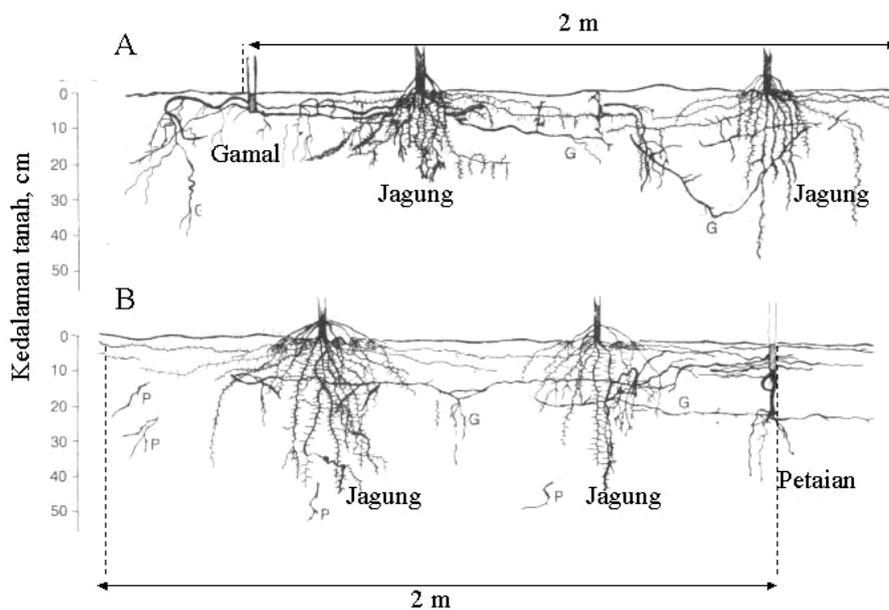
Berikut adalah contoh kasus peranan akar pohon dalam mengurangi “kebocoran N” dari sistem budidaya pagar dan monokultur di daerah Pakuan Ratu, Lampung Utara yang memiliki curah hujan rata-rata tahunan sekitar 2,5 m (Suprayogo *et al.*, 2000). Pohon petaian (*Peltophorum dassirachis*), gamal (*Gliricidia sepium*) ditanam berbaris, dengan jarak antar barisan 4 m. Jagung ditanam pada musim tanam I di antara baris pohon, dan pada musim tanam II ditanami kacang tanah. Pohon semuanya telah berumur sekitar 12 tahun. Sebagai pembandingan dipergunakan petak tanaman pangan monokultur dipupuk N sebanyak 90 kg ha⁻¹.

Tingkat kebocoran N diukur dari banyaknya N-mineral (NH₄⁺ dan NO₃⁻) yang dijumpai pada ke dalam tanah 80 cm dan > 80 cm, di mana kedalaman akar efektif pada umumnya sekitar 30-50 cm. Semakin rendah konsentrasi N mineral yang dijumpai pada lapisan bawah berarti semakin efektif akar tanaman pohon dalam menyerap N yang lolos.

Dari hasil pengukuran diketahui bahwa tidak ada perbedaan jumlah air drainasi pada semua petak. Namun bila ditinjau dari konsentrasi N-mineral baik pada ke dalam tanah 80 cm maupun > 80 cm, ternyata konsentrasi N-mineral tertinggi dijumpai pada petak tanaman pangan monokultur. Pada petak budidaya pagar, konsentrasi N-mineral terendah dijumpai pada petak petaian, dan konsentrasi tertinggi dijumpai pada petak gamal, sedang campuran petaian/gamal berada di antaranya. Tingginya konsentrasi N-mineral yang dapat terukur menunjukkan tingginya tingkat kebocoran dari suatu sistem. Kebocoran N yang tinggi pada petak pohon gamal, mungkin disebabkan oleh sebaran perakarannya yang lebih dangkal daripada petaian (Gambar 4, Hairiah *et al.*, 1992).

Kolom 1 (lanjutan)

Kemungkinan lain, juga dapat disebabkan oleh tingginya ketersediaan N dalam tanah karena gamal dapat menambat N langsung dari udara, sehingga jumlah kelebihan N juga bertambah. Berbeda dengan pohon petaian yang tidak mampu mengikat N dari udara (karena termasuk dalam sub famili *Caesalpinioideae*) maka N yang diperlukan untuk hidupnya diambil dari dalam tanah sehingga N tersedia dalam tanah rendah. Jadi jumlah N yang terangkut air juga sedikit. Untuk memperkuat argumen tersebut, pemupukan ^{15}N yang disuntikkan pada lapisan tanah bawah (55 cm), ternyata gamal menyerap ^{15}N dari lapisan tersebut sekitar 21 kg ha^{-1} (30% dari total serapan N dari seluruh lapisan tanah) dan petaian menyerap sekitar 40 kg ha^{-1} (42% dari serapan N dari seluruh lapisan tanah) (Rowe *et al.*, 1999).



Gambar 4. Sebaran akar jagung tumpangsari dengan gamal (A) akar jagung tumpangsari dengan petaian (B) pada tanah masam di Pakuan Ratu, Lampung Utara (Hairiah *et al.*, 1992).

1.3 Peningkatan ketersediaan N dalam tanah bila pohon yang ditanam dari keluarga leguminosae

Pada umumnya tanaman kacang-kacangan (*legume*) dapat meningkatkan jumlah N tanah akibat adanya tambahan N dari hasil penambatan N bebas di udara. Untuk menambat N dari udara ini akar tanaman kacang-kacangan harus bersimbiosis dengan mikrobia tanah rhizobium. Beberapa jenis kacang-kacangan dari famili *Caesalpinioideae* tidak membentuk bintil akar, dan pada umumnya tanaman dari keluarga tersebut tidak mampu menambat N dari udara bebas, sebagai contohnya adalah petaian (*Peltophorum dasyrrachis*). Banyaknya N yang diikat dari udara bervariasi tergantung dari jenis tanamannya. Pohon 'kayu hujan' yang disebut juga 'gamal' (*Gliricidia sepium*) sering dipakai sebagai ajir hidup tanaman lada dalam sistem agroforestri, dapat menyumbangkan N sekitar $40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ atau setara dengan pupuk urea sekitar 88 kg ha^{-1} .

Pertanyaan

Apakah tanaman kelompok leguminosae selalu dapat menambah N lewat penambatan N bebas dari udara? Jika jawaban yang anda berikan adalah tidak selalu menguntungkan, mengapa?

1.4 Mempertahankan sifat fisik tanah

Sifat fisik tanah (lapisan atas) yang paling penting dan dibutuhkan untuk menunjang pertumbuhan berbagai jenis tanaman dan pepohonan adalah struktur dan porositas tanah, kemampuan menahan air dan laju infiltrasi. Lapisan atas tanah merupakan tempat yang mewadahi berbagai proses dan kegiatan kimia, fisik dan biologi. Ada 3 aktor pelaku dalam kegiatan biologi dalam tanah adalah makro dan mikro fauna serta semua perakaran tanaman. Untuk menunjang berlangsungnya proses-proses kimia, fisik dan biologi diperlukan air dan udara dalam jumlah yang cukup dan tersedia pada saat yang tepat. Oleh karena itu tanah harus memiliki sifat fisik yang bisa mendukung terjadinya sirkulasi udara dan air yang baik.

Untuk membantu dalam memahami peran agroforestri dalam memperbaiki sifat fisika tanah, lihat Gambar skematis 5. Sistem agroforestri pada umumnya memiliki kanopi yang menutupi sebagian atau seluruh permukaan tanah sepanjang tahun. Dari sistem ini dihasilkan berbagai macam kualitas seresah yang menutupi permukaan tanah dan sebagian akan melapuk secara bertahap. Adanya seresah yang menutupi permukaan tanah serta penutupan tajuk pepohonan menyebabkan kondisi di permukaan tanah dan lapisan tanah lebih lembab, temperatur dan intensitas cahaya lebih rendah. Kondisi iklim mikro yang demikian ini sangat sesuai untuk kegiatan dan perkembangbiakan organisme. Kegiatan dan perkembangan organisme ini semakin cepat karena ketersediaan bahan organik sebagai sumber energi cukup terjamin. Kegiatan organisme dalam tanah berpengaruh terhadap beberapa sifat fisik tanah seperti terbentuknya pori makro (*biopores*) dan pemantapan agregat. Peningkatan jumlah pori makro dan kemantapan agregat pada gilirannya akan meningkatkan kapasitas infiltrasi dan sifat aerasi tanah (Lihat kolom 2). Perbaikan kondisi fisik tanah ini akan mendorong pertumbuhan akar tanaman, sehingga limpasan permukaan dan erosi dapat ditekan. Selain itu, akar pepohonan yang telah mati akan meninggalkan liang yang bermanfaat untuk perbaikan pertumbuhan akar tanaman yang ditanam pada musim berikutnya, Lihat kolom 3.



Gambar 5. Hubungan skematis dari beberapa proses yang terlibat dalam perbaikan sifat fisik tanah oleh agroforestri.

Kolom 2. Agroforestri dapat mempertahankan dan meningkatkan ketersediaan air dalam lapisan perakaran

Sistem agroforestri menghasilkan seresah yang dapat menutup permukaan tanah dan lapukannya meningkatkan atau paling tidak mempertahankan kadar bahan organik di lapisan atas. Bahan organik dan seresah meningkatkan kehidupan fauna tanah, memperbaiki struktur dan porositas tanah. Penebangan hutan mengakibatkan penurunan jumlah pori makro secara drastis, namun dengan penerapan agroforestri akan terjadi peningkatan kembali jumlah pori makro walaupun memerlukan waktu cukup lama (Tabel 3). Kondisi ini selanjutnya dapat meningkatkan kemampuan tanah dalam mengalirkan air (infiltrasi) dan menyimpan air. Di sisi lain kondisi iklim mikro di bawah kanopi menyebabkan rendahnya *evaporative demand*, sehingga walaupun lapisan tanah atas mengandung air dalam jumlah banyak tetapi penguapan aktual yang terjadi sangat rendah. Sementara penutupan seresah bisa berfungsi sebagai mulsa. Kondisi demikian menyebabkan sistem agroforestri dapat mempertahankan air tersedia dalam waktu yang lebih lama, sehingga lapisan atas tanah tidak kering pada musim kemarau.

Tabel 3. Beberapa sifat fisik lapisan tanah permukaan dari petak-petak percobaan.

	Hutan	Kopi 1 tahun	Kopi 3 tahun	Kopi 7 tahun	Kopi 10 tahun
Laju Infiltrasi (cm jam ⁻¹)	11,0	7,1	1,4	7,4	8,8
Jumlah Pori Makro (% vol)	18,2	5,0	3,4	5,3	6,6
Kadar C-organik (% massa)	2,4	1,1	1,2	1,3	1,9
Tekstur Tanah (permukaan)	Lempung	Liat	Liat	Liat	Liat

Sumber: Widiyanto *et al.*, 2002.

Kolom 3. Manfaat akar pohon dalam pembentukan pori makro

Pada tanah masam, liang bekas akar pohon yang telah mati, berguna untuk pertumbuhan akar tanaman lainnya. Tingkat keracunan Al di dalam liang ternyata lebih rendah daripada tanah di luar liang. Dekomposisi dan mineralisasi akar pohon akan melepaskan beberapa asam-asam organik seperti sitrat, malat dan fulfat yang dapat mengkelat Al menjadi bentuk yang tidak beracun bagi tanaman. Dalam Tabel 4 disajikan contoh hasil pengukuran pH tanah pada berbagai kedalaman profil tanah yang dibuat pada petak budidaya pagar di Ultisol, Onne, Nigeria. Sebagai pembandingan dua kolom terakhir menunjukkan pH di dalam dan di luar liang akar pada lapisan tanah bawah (Hairiah dan van Noordwijk, 1986).

Tabel 4. pH tanah pada berbagai kedalaman dalam profil tanah yang dibuat pada petak budidaya pagar dan di dalam liang akar pada lapisan tanah bawah pada Ultisol, Onne, Nigeria (Hairiah & van Noordwijk, 1986).

	Kedalaman (cm)			Di luar liang	Di dalam liang
	0-20	20-30	30-60		
pH-H ₂ O	3,6	3,6	3,6	3,7	3,4
pH-KCl	4,7	4,5	4,4	4,4	4,2

Dari data tersebut di atas dapat dilihat bahwa pH di dalam liang akar pohon relatif lebih rendah daripada tanah di sekelilingnya atau tanah dalam profil tanah. Coba perhatikan Gambar 6, akar ubikayu tumbuh lebih banyak dalam liang bekas akar mati daripada di luar liang. Ada 3 kemungkinan yang menyebabkan akar ubikayu dapat tumbuh pada liang akar pohon: (a) keracunan Al rendah, (b) lebih kaya akan hara (c) struktur tanah lebih remah.

Kolom 3 (lanjutan)



Gambar 6. Pemandangan di dalam tanah yang menunjukkan peranan penting liang yang terbentuk dari akar pohon yang telah mati. Tanah di dalam liang berwarna lebih gelap dan gembur daripada tanah di sekelilingnya, sehingga lebih banyak akar yang tumbuh mengikuti liang tersebut sampai ke lapisan bawah. Akar pohon mati membentuk liang dan akar ubikayu tumbuh di dalamnya menembus lapisan bawah pada Ultisol di Onne Nigeria (Foto: Meine van Noordwijk, 1986)

1.5 Mengurangi bahaya erosi

Seperti telah dibahas di Bahan Ajaran 3, agroforestri dapat menekan erosi melalui beberapa mekanisme, antara lain melalui: (a) Penutupan permukaan tanah sepanjang tahun oleh tajuk tanaman sehingga kehancuran agregat tanah oleh pukulan air hujan dapat ditekan, (b) Mempertahankan kandungan BOT dan meningkatkan kegiatan biologi tanah termasuk perakaran. Kondisi demikian dapat memperbaiki sifat-sifat fisik tanah seperti struktur dan porositas tanah serta mempertahankan laju infiltrasi yang cukup tinggi. Besarnya laju infiltrasi menyebabkan lebih banyak bagian dari air hujan yang masuk ke dalam tanah dan mengurangi jumlah limpasan permukaan. Di sisi lain, adanya batang pohon dan tanaman dapat menghambat laju limpasan permukaan sehingga mengurangi kecepatan aliran dan semakin meningkatkan jumlah air yang masuk ke dalam tanah. Hal ini menyebabkan kekuatan limpasan untuk mengangkut tanah jauh menurun. Contoh peran agroforestri pada skala plot ini dapat dilihat pada Kolom 4.

Kolom 4. Agroforestri kompleks mengurangi limpasan permukaan dan erosi pada lahan berlereng.

Penelitian dilaksanakan pada lahan berbukit sampai bergunung di Desa Sumberjaya, Lampung Barat. Lokasi penelitian terletak pada ketinggian antara 800-1000 m dpl, dan berkembang dari bahan vulkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur besarnya limpasan permukaan dan erosi pada lahan agroforestri berbasis kopi yang meliputi (a) kopi monokultur, (b) kopi + berbagai pohon naungan atau disebut sistem kopi campuran, (c) kopi + naungan leguminosae, yang dipakai adalah sengon laut (*Albizia lebec*) atau gamal (*Gliricidia sepium*), (d) hutan yang dipakai sebagai pembanding.

Kolom 4. (Lanjutan)

Lahan yang dipilih untuk diukur adalah lahan yang mempunyai kelerengan rata-rata 30° dan kopi telah berumur minimal 7 tahun. Pengamatan erosi, limpasan permukaan maupun curah hujan dilakukan pada sehari setelah terjadi hujan.

Hasil pengukuran di lapangan pada Tabel 5 menunjukkan bahwa limpasan permukaan terbesar terjadi pada lahan kopi monokultur dan terendah terjadi pada hutan.

Tabel 5. Besarnya erosi dan aliran permukaan (RO) pada berbagai sistem penggunaan lahan.

Perlakuan	Lama hujan (hari)	Total hujan (mm)	Total RO (mm)	Total Erosi (g/m ²)	Total Erosi (ton/ha)
Hutan	107	988	50	24,00	0,24
Kopi + sengon	121	783	55	84,10	0,84
Kopi + gamal	121	763	94	159,25	1,59
Kopi + naungan campuran	121	736	104	342,25	3,42
Kopi monokultur	107	991	185	359,70	3,60

Hutan sebagai kontrol mempunyai limpasan permukaan paling sedikit, karena lahan hutan tertutup oleh tajuk yang cukup lebar serta kerapatan tanaman lebih rapat, meskipun curah hujan pada hutan lebih tinggi dibanding dengan tanaman kopi+naungan. Namun demikian, hutan lebih efektif dalam menahan laju erosi. Limpasan permukaan pada kopi + naungan sengon terjadi cukup rendah, hampir menyamai hutan. Namun, persentase air hujan yang menjadi limpasan permukaan lebih besar pada kopi + naungan sengon dibandingkan hutan. Hal ini menunjukkan bahwa kopi naungan sengon cukup efektif mengurangi laju limpasan permukaan, tetapi tidak dapat menyamai peranan hutan alami.

Sumber: Eka Irsyamudana, 2003 (dalam proses penyelesaian).

1.6 Menekan serangan hama & penyakit

Ada pepohonan yang dapat mengurangi *populasi hama* dan *penyakit tertentu*, misalnya pohon mimba (*Azadirachta indica*) yang ditumpangsarikan dengan *chickpea* atau kacang arab (*Cicer arietinum*) dapat menekan serangan *root-knot* nematode terhadap kacang hijau (Narwal *et al.*, 1998 dalam Desaeger *et al.*, 2002).

1.7 Menjaga kestabilan iklim mikro dan menekan populasi gulma

Pepohonan yang ditanam cukup rapat dapat menjaga kestabilan *iklim mikro*, mengurangi kecepatan angin, meningkatkan kelembaban tanah dan memberikan naungan parsial, contohnya *Erythrina* (dadap) yang ditanam untuk memberikan naungan bagi kopi. Naungan pohon dapat menekan pertumbuhan gulma terutama alang-alang dan menjaga kelembaban tanah sehingga mengurangi *risiko kebakaran* pada musim kemarau.

Alang-alang adalah jenis rumput tahunan yang menyukai cahaya matahari, dengan bagian yang mudah terbakar di atas tanah dan akar rimpang (*rhizome*) yang menyebar luas di bawah permukaan tanah. Alang-alang dapat berkembang biak melalui biji dan akar rimpang, namun pertumbuhannya terhambat bila ternaungi. Oleh karena itu salah satu cara mengatasinya adalah dengan jalan menanam tanaman lain yang tumbuh lebih cepat dan dapat menaungi.

Menanam tanaman penutup tanah baik berupa tanaman semusim, perdu, atau pohon dapat membantu mengendalikan alang-alang. Tidak semua pohon yang

ditanam dapat menekan pertumbuhan alang-alang. Hanya pepohonan yang cepat pertumbuhannya dan memiliki tajuk yang rapat dan padat sangat potensial untuk mengendalikan alang-alang. Dari hasil percobaan dan survey yang dilakukan oleh Purnomosidhi *et al.* (2000) pada lahan petani di Lampung Utara, menunjukkan bahwa agroforestri dapat menekan populasi alang-alang sampai batas yang tidak merugikan, bila telah terjadi penanaman yang dapat mengurangi sinar matahari yang masuk minimal 80% dari jumlah total sinar pada tempat terbuka. Waktu yang diperlukan minimal 2 bulan. Dan dari hasil survey tersebut diperoleh informasi bahwa kebun karet campuran adalah yang paling efektif dalam menekan populasi alang-alang. Kebun sengon kurang efektif karena kanopinya tidak terlalu rapat sehingga masih banyak sinar matahari yang lolos masuk ke permukaan tanah.

2. Apakah Agroforestri selalu menguntungkan? Jawabannya adalah... TIDAK SELALU!

Dari uraian bab 1 di atas nampaknya perhatian kita masih dipusatkan pada keuntungan yang diperoleh dari melaksanakan sistem agroforestri. Kenyataannya, beberapa petani masih menganggap bahwa menanam pepohonan di lahan pertaniannya justru merugikan. Macam kerugian yang dihadapi petani ini bermacam-macam, tergantung dari sudut pandangnya.

1. *Segi ekonomi.* Agroforestri kadang-kadang justru merugikan petani. Hal ini dapat terjadi dengan adanya kondisi pasar yang tidak mendukung, misalnya harga pasar yang kurang stabil atau berubahnya kebutuhan petani. Di lain pihak petani telah menunggu cukup lama untuk memperoleh hasil dari kebunnya.
2. *Segi sosial.* Menanam pohon pada lahan pertanian kadang-kadang juga dapat merepotkan petani, misalnya karena adanya kebijakan pemerintah yang kurang mendukung. Sebagai contoh, beberapa tahun yang lalu masyarakat NTT dihadapkan pada suasana ketakutan untuk menanam pohon cendana di lahannya, karena jual beli kayu cendana di dalam dan di luar kawasan hutan diatur ketat oleh pemerintah. Pemasaran dan penjualan produk kayu cendana adalah monopoli pemerintah (Perda Propinsi NTT No 16 tahun 1986), dan hasil penjualan dibagi dua yaitu 40% untuk petani dan sekitar 60% untuk pemerintah (Keputusan Gubernur NTT No. 2 tahun 1996) (Rahayu *et al.*, 2002). Dengan demikian muncul anggapan petani bahwa menanam cendana di lahannya sama dengan mengundang bencana. Untungnya pada tahun 1999 ada pencabutan Perda tahun 1986, untuk membuka kesempatan baru bagi petani untuk menanam kembali cendana di lahannya sehingga kepunahan cendana dapat dicegah.
3. *Segi kesuburan tanah.* Masyarakat sering dihadapkan pada dua pilihan yang berlawanan, di satu sisi petani mengharapkan pohon yang cepat pertumbuhannya dengan tujuan cepat memperoleh produksi, tetapi kenyataannya pohon ini justru memiskinkan tanah. Ada 2 hal yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan pohon, bahwa produksi biomasa berhubungan erat dengan besarnya intersepsi cahaya; dan produksi biomasa dengan jumlah transpirasi air. Bila stomata membuka, maka CO₂ dapat memasuki daun untuk dipergunakan dalam proses fotosintesis. Dengan kejadian yang sama, air juga dapat menguap ke atmosfer. Jadi memilih pohon yang pertumbuhannya cepat, petani harus

mempertimbangkan pula penyediaan energi yang dibutuhkan tanaman tersebut.

Pernah pula dikeluhkan oleh petani bahwa pohon yang mereka tanam, perannya sedikit terhadap perbaikan kesuburan tanah karena jumlah seresah yang jatuh tidak terlalu banyak sehingga tanah tetap saja keras dan sulit diolah.

4. *Segi pertumbuhan tanaman lain.* Menanam pohon yang tumbuh tinggi menjulang dengan bentuk percabangan yang menyebar luas dalam sistem campuran akan merugikan tanaman lain terutama bila yang ditanam adalah tanaman pangan. Keberadaan pohon dianggap sebagai kompetitor bagi tanaman pangan karena adanya kompetisi akan cahaya, air dan hara. Penanganan pengaruh naungan biasanya dilakukan pemangkasan cabang dan ranting sebanyak satu sampai dua kali setahun, dan untuk setiap pemangkasan dibutuhkan tenaga kerja sekitar 20-30 orang/ha/hari. Jika diperlukan 2-3 kali pemangkasan setiap tahunnya, maka terlalu banyak tenaga kerja yang dibutuhkan. Bila pemangkasan dilakukan hanya sekali saja pada saat awal pertumbuhan tanaman semusim tidaklah cukup, karena bertepatan dengan masa tanam tanaman pangan sehingga ketersediaan tenaga kerja terbatas. Alasan inilah yang sering dikeluhkan petani dalam pengelolaan lahannya. Namun harus disadari pula oleh petani, pohon yang cepat pertumbuhannya menghasilkan naungan yang rapat yang sangat bermanfaat dalam menekan populasi gulma (terutama pada musim kemarau), sehingga mengurangi kebutuhan tenaga kerja pada saat persiapan tanam.

Selain itu, keberadaan pohon bisa merugikan tanaman lain karena beberapa jenis pohon mengeluarkan *allelopathy*. *Allelopathy* yaitu substansi organik (misalnya melalui eksudasi akar) yang kadang-kadang dikeluarkan oleh tanaman sebagai strategi untuk melindungi diri dari kompetitornya, namun untuk pembuktiannya di lapangan masih sulit dilakukan. Selama ini pembuktiannya masih sebatas uji di laboratorium yang homogen kondisinya.

Jadi untuk memperoleh keuntungan agroforestri yang optimal, maka diperlukan ketrampilan khusus dalam mengelola tanaman. Untuk itu diperlukan pemahaman yang mendalam akan adanya interaksi antar komponen penyusun agroforestri (Pohon-tanah-tanaman semusim dan ternak bila ada).

3. Interaksi pohon–tanah–tanaman semusim

3.1 Konsep interaksi

Pada sistem pertanian monokultur baik tanaman semusim maupun tahunan, bila ditanam terlalu dekat akan menurunkan produksi per unit area. Hal ini disebabkan oleh adanya kompetisi akan cahaya, air dan hara. Bila jarak tanamnya diperlebar maka besarnya tingkat kompetisi tersebut semakin berkurang. Dalam praktek di lapangan, petani mengelola tanamannya dengan melakukan pengaturan pola tanam, pengaturan jarak tanam dan sebagainya.

Pada sistem campuran dari berbagai jenis tanaman atau *mixed cropping* (pohon dengan tanaman semusim, atau hanya pepohonan saja), maka setiap jenis tanaman dapat mengubah lingkungannya dengan caranya sendiri. Sebagai

contoh, jenis tanaman yang bercabang banyak akan menaungi tanaman yang lain. Beberapa tanaman yang jaraknya tidak terlalu dekat akan memperoleh keuntungan, prosesnya sering disebut dengan '*facilitation*'. Contohnya, pohon dadap yang tinggi dan lebar sebaran kanopinya memberikan naungan yang menguntungkan tanaman kopi. Jenis tanaman yang lain, yang berperakaran lebih dalam daripada yang lain sehingga lebih memungkinkan untuk menyerap air dan hara dari lapisan yang lebih dalam. Dalam waktu singkat kondisi lingkungan di sekitar tanaman akan berubah (ketersediaan hara semakin berkurang), sehingga akhirnya akan menimbulkan kompetisi antar tanaman.

Pertanyaan

Dalam sistem agroforestri apakah setiap komponen penyusunnya dapat memperoleh sumber daya alam (air, hara dan hara) sesuai dengan kebutuhannya? Apakah produksi yang diperoleh sama dengan yang diperoleh pada sistem non-agroforestri (Monokultur)?

Proses saling mempengaruhi, baik yang menguntungkan maupun yang merugikan, antar komponen penyusun sistem campuran ini (termasuk sistem agroforestri) sering disebut dengan 'interaksi'. Secara ringkas digambarkan secara skematis dalam Gambar 7.

3.2 Interaksi Pohon–Tanah–Tanaman Semusim

Salah satu kunci keberhasilan usaha agroforestri terletak pada usaha meningkatkan pemahaman terhadap interaksi antar tanaman (tujuan jangka pendek) dan dampaknya terhadap perubahan kesuburan tanah (tujuan jangka waktu panjang).

Guna menghindari kegagalan agroforestri, ada tiga hal utama yang perlu diperhatikan yaitu: (a) proses terjadinya interaksi, (b) faktor penyebab terjadinya interaksi, dan (c) jenis-jenis interaksi.

Proses Terjadinya Interaksi: langsung atau tidak langsung

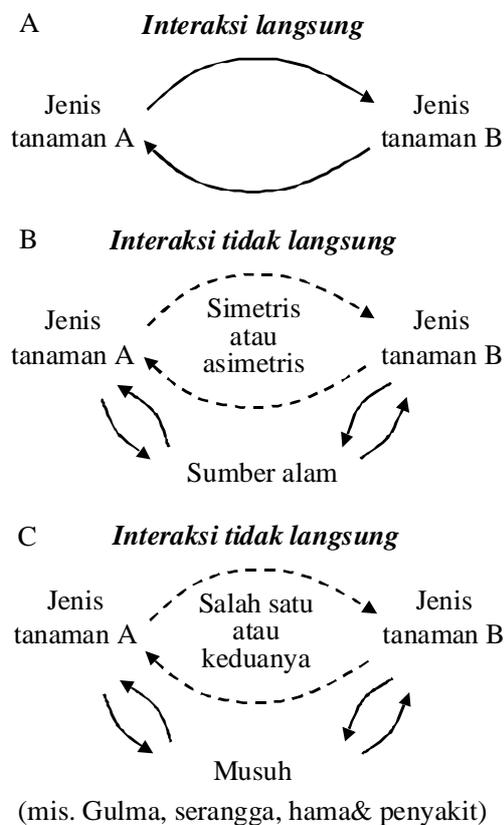
Dalam sistem pertanian campuran, kompetisi antar tanaman yang ditanam berdampingan pada satu lahan yang sama sering terjadi, bila ketersediaan sumber kehidupan tanaman berada dalam jumlah terbatas. Kompetisi ini biasanya diwujudkan dalam bentuk hambatan pertumbuhan terhadap tanaman lain. Hambatan dapat terjadi secara *langsung* maupun *tidak langsung*. Hambatan secara langsung, misalnya melalui efek *allelopathy*, jarang dijumpai di lapangan. Hambatan tidak langsung dapat melalui berkurangnya intensitas cahaya karena naungan pohon, atau menipisnya ketersediaan hara dan air karena dekatnya perakaran dua jenis tanaman yang berdampingan. Tanaman kadang-kadang mempengaruhi tanaman lain melalui 'partai ketiga' yaitu bila tanaman tersebut dapat menjadi inang bagi hama atau penyakit bagi tanaman lainnya (Gambar 7).

Pertanyaan

Sebutkan jenis interaksi yang dipengaruhi oleh iklim, jenis tanah, jenis tanaman dan pohon; dan sebutkan faktor mana yang dapat diubah melalui perubahan sistem pengelolaan.

Pemahaman yang mendalam tentang proses terjadinya interaksi antar tanaman (baik pada spesies yang sama maupun spesies yang berbeda) dalam sistem agroforestri sangat dibutuhkan agar dapat menentukan pengelolaan yang tepat.

Interaksi tidak langsung yang bersifat positif misalnya pengaruh pohon dadap pada kebun kopi. Pohon dadap berfungsi sebagai penambah N juga sebagai penabung.



Gambar 7. Bentuk-bentuk kompetisi antar tanaman: (A) spesies A secara langsung menghambat pertumbuhan spesies B atau sebaliknya, (B) interaksi tidak langsung yaitu dengan mengubah lingkungan pertumbuhan, (C) interaksi tidak langsung yaitu dengan menstimulir pertumbuhan musuh (hama+penyakit) bagi tanaman

Faktor Penyebab Terjadinya Interaksi

Secara umum interaksi yang bersifat negatif dapat terjadi karena (1) keterbatasan daya dukung lahan yang menentukan jumlah populasi maksimum dapat tumbuh pada suatu lahan; dan (2) keterbatasan faktor pertumbuhan pada suatu lahan.

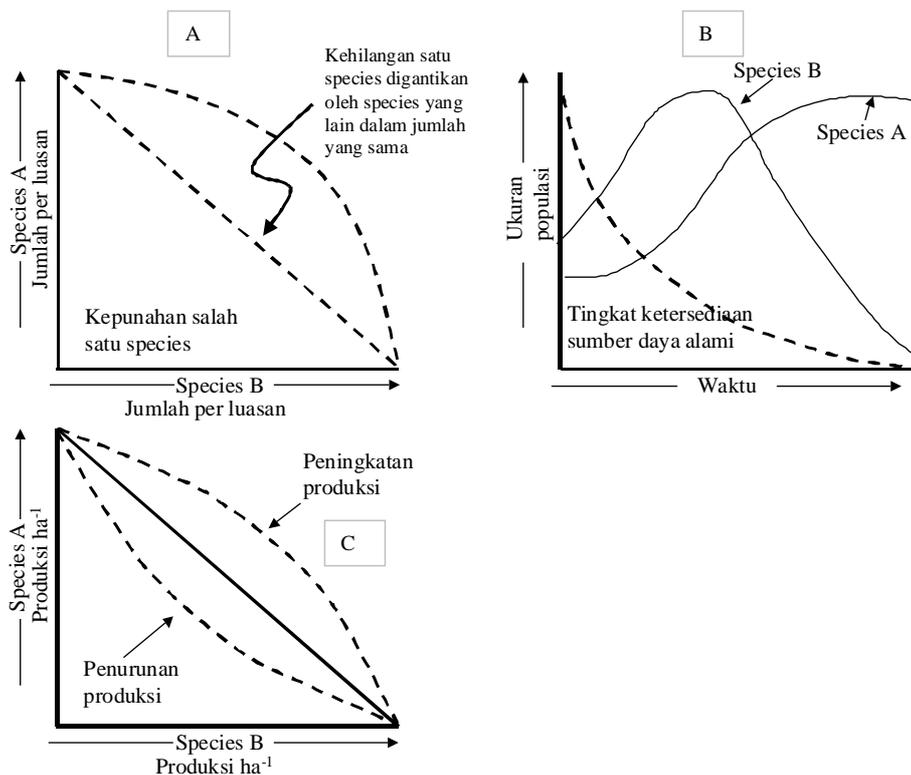
1) Populasi Maksimum

Konsep daya dukung alam merupakan konsep yang juga penting untuk diketahui oleh ahli ekologi. Konsep ini menggambarkan tentang jumlah maksimum dari suatu spesies di suatu area, baik sebagai sistem monokultur, atau campuran. Suatu spesies mungkin saja dapat tumbuh dalam jumlah yang melimpah pada suatu lahan. Apabila dua spesies tumbuh bersama pada lahan tersebut, maka salah satu spesies lebih kompetitif daripada yang lain. Hal ini kemungkinan mengakibatkan spesies kedua akan mengalami kepunahan (Gambar 8). Di dalam usaha pertanian, tanaman pokok yang terutama diharapkan tumbuh lebih baik.

2) Keterbatasan faktor pertumbuhan

Salah satu syarat terjadinya kompetisi adalah keterbatasan faktor pertumbuhan (air, hara dan cahaya). Pertumbuhan tanaman mengalami kemunduran jika terjadi penurunan ketersediaan satu atau lebih faktor. Kekurangan hara di

suatu lahan mungkin saja terjadi karena kesuburan alami yang memang rendah, atau karena besarnya proses kehilangan hara pada lahan tersebut, misalnya karena penguapan dan pencucian. Kekurangan air dapat terjadi karena daya menyimpan air yang rendah, distribusi curah hujan yang tidak merata, atau proses kehilangan air (aliran permukaan) yang cukup besar. Pengetahuan tentang faktor pertumbuhan: jumlah yang dibutuhkan tanaman dan ketersediaannya di suatu lahan, sangat diperlukan untuk memperoleh pertumbuhan tanaman yang optimal pada sistem agroforestri.



Gambar 8. (A) kemungkinan adanya 2 spesies tumbuh bersamaan atau salah satu mengalami kepunahan bila ada keterbatasan daya dukung lahan; (B) Salah satu spesies (sp B) yang mengalami kepunahan, di lain pihak spesies A masih mampu menimba sumber alam yang telah semakin menipis. Pada sistem agroforestri tentunya diharapkan semua komponen penyusunnya 'menang', walaupun dalam praktek di lapangan ada spesies yang agak dikalahkan (C). Contoh untuk menunjukkan adanya penurunan (terjadi kompetisi) atau peningkatan produksi (terjadi komplementari) (Huxley, 1999).

Jenis Interaksi Pohon-Tanah-Tanaman

Telah diutarakan pada sub bab terdahulu bahwa menanam berbagai jenis tanaman pada lahan yang sama dalam sistem agroforestri akan menimbulkan berbagai macam bentuk interaksi antar tanaman. Jenis-jenis interaksi disajikan pada Tabel 6.

Pada prinsipnya ada tiga macam interaksi di dalam sistem agroforestri (Gambar 9), yaitu:

Interaksi positif (*complementarity* = saling menguntungkan): bila *peningkatan* produksi satu jenis tanaman diikuti oleh peningkatan produksi tanaman lainnya (Gambar 9a).

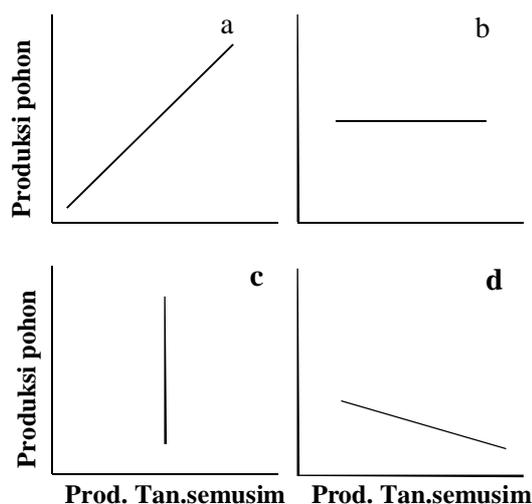
Interaksi netral: bila kedua tanaman tidak saling mempengaruhi, peningkatan produksi tanaman semusim tidak mempengaruhi produksi pohon (Gambar 9b)

atau peningkatan produksi pohon tidak mempengaruhi produksi tanaman semusim (Gambar 9c).

Interaksi negatif (kompetisi/persaingan = saling merugikan): bila peningkatan produksi satu jenis tanaman diikuti oleh *penurunan* produksi tanaman lainnya (Gambar 9d), ada kemungkinan pula terjadi penurunan produksi keduanya.

Tabel 6. Analisis interaksi antara 2 jenis tanaman A dan B (dimodifikasi dari Torquebiau, 1994). (0 : Tidak ada interaksi yang nyata; + : Menguntungkan bagi tanaman utama (pertumbuhannya, ketahanan terhadap "stress", reproduksi dsb.); - : Merugikan bagi tanaman utama)

Macam interaksi	Pengaruh interaksi terhadap tanaman:		Penjelasan	Contoh dalam Agroforestri
	A	B		
Mutualisme (<i>Mutualism</i>)	+	+	Interaksi yang saling menguntungkan	Mycorrhizae, rhizobium dengan leguminosae
Fasilitasi (<i>Facilitation</i>)	+	0	Satu tanaman (B) membantu jenis tanaman lainnya (A) walaupun tidak mutlak diperlukan; B tidak dipengaruhi	Penghalang angin (<i>Windbreaks</i>), pohon penayang (<i>shade trees</i>), Budi daya pagar (<i>hedgerow intercropping</i>)
Komensalisme (<i>Commensalism</i>)	+	0	Satu jenis tanaman (A) harus mendapatkan dukungan tanaman lain (B) (<i>Interaction obligatory</i>); tetapi B tidak dirugikan	Sebagai tempat rambatan; Bero (<i>Improved fallows</i>)
Netralisme Neutralism	0	0	Tidak ada saling pengaruh	Pohon tumbuh berpenjar
Parasitism/predation	+	-	Satu jenis tanaman (A) <i>harus menghambat</i> (<i>Interaction obligatory</i>) yang lain untuk hidupnya; B dihambat	Hama dan penyakit
Amensalisme	-	0	A terhambat; B tidak	Allelopathy
Kompetisi dan penghambatan (<i>Competition and interference</i>)	-	-	Satu jenis tanaman dihambat oleh tanaman lainnya melalui persaingan terhadap cahaya, air dan hara.	<i>Alley cropping</i> (yang tidak dikelola dengan baik)



Gambar 9. Interaksi positif (a), netral (b dan c), atau negatif (d) antara komponen penyusun agroforestri (Torquebiau, 1994).

4. bagaimana menganalisa interaksi pohon dan tanaman semusim secara kuantitatif?

4.1 Pagaruh positif dan negatif

Keberhasilan sistem tumpangsari ditentukan oleh keseimbangan antara pengaruh positif dan negatif dari masing-masing tanaman, yang bisa dianalisa dengan menggunakan persamaan sederhana (persamaan 1) sebagai berikut:

$$Y_{\text{sistem}} = Y_{\text{pohon}} + Y_{\text{tan.pangan}} = Y_{\text{pohon}} + Y_{\text{tan.pangan},0} + F - C$$

di mana,

- Y_{sistem} = produksi total dari sistem pohon + tanaman semusim
- Y_{pohon} = produksi dari hasil panen pohon pada sistem tumpangsari
- $Y_{\text{tan.pangan}}$ = produksi dari hasil panen tanaman semusim pada sistem tumpangsari
- $Y_{\text{tan.pangan},0}$ = produksi tanaman semusim pada sistem monokultur, pada jenis tanah yang sama
- F = pengaruh positif dari pohon terhadap tanaman semusim melalui perbaikan kesuburan tanah
- C = pengaruh negatif dari pohon terhadap tanaman semusim melalui kompetisi akan cahaya, air dan hara.

4.2 Apakah sistem agroforestri menguntungkan bila dibandingkan dengan tanaman semusim monokultur atau pohon monokultur?

Hal ini dapat dilihat dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut di atas:

Terjadi interaksi positif, bila $F > C$

Terjadi interaksi negatif, bila $F < C$

Perhitungan ini dapat dilakukan dengan tiga pendekatan: a) Model mulsa dan naungan; b) Model Penggunaan air, hara, dan cahaya (WaNuLCAS); dan kemudian c) Analisa dan sintesis interaksi pohon-tanah-tanaman.

Model Mulsa dan naungan (Mulch + shade model)

Pohon yang cepat pertumbuhannya memberikan pengaruh positif dengan menghasilkan banyak seresah sebagai mulsa, namun pohon tersebut juga memberikan pengaruh negatif dengan mengakibatkan naungan yang besar. Model simulasi sederhana yang hanya menggunakan persamaan matematika biasa untuk menganalisa kedua pengaruh tersebut dalam sistem agroforestri telah dikembangkan oleh Van Noordwijk (1996a). Model tersebut dikembangkan hanya berdasarkan pada produksi mulsa dan dampaknya terhadap perbaikan kesuburan tanah, dan memperhitungkan adanya dampak negatif melalui naungan. Model tersebut juga memperhitungkan besarnya nisbah mulsa: naungan sebagai dasar perbandingan antar spesies pohon. Dengan model tersebut, dapat diperkirakan bahwa pengaruh positif mulsa untuk perbaikan kesuburan tanah terutama terjadi pada tanah-tanah miskin, sedangkan pengaruh negatif dari naungan lebih banyak terjadi pada tanah-tanah yang sudah subur.

Kelemahannya, model tersebut tidak mempertimbangkan adanya perubahan interaksi antara pohon dengan tanaman semusim yang berhubungan dengan penyediaan air tanah, dinamika N, pertumbuhan tanaman semusim dan pohon. Memasukkan parameter-parameter tersebut ke dalam model, akan merupakan satu langkah maju untuk mengembangkan model menjadi model simulasi yang dinamis; yang dapat mengestimasi sumber energi di luar maupun di dalam tubuh tanaman dan dapat juga dipakai untuk memperhitungkan keluaran energi per hari (*daily resource flows*) dan penggunaannya (*daily resource capture*).

Model Penggunaan Air Hara Cahaya (WaNuLcas: Water Nutrient Light Capture)

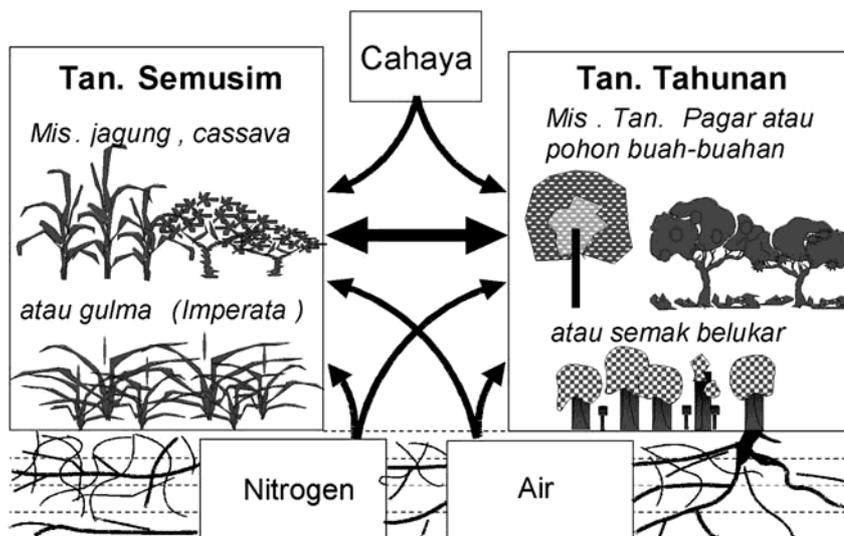
Model simulasi WANULCAS telah dikembangkan baru-baru ini (Van Noordwijk dan Lusiana, 1999) yang mensintesis proses-proses penyerapan air, hara dan cahaya pada berbagai macam pola tanam dalam sistem agroforestri. Model WANULCAS ini memasukkan interaksi yang terjadi antara pohon dan tanaman semusim seperti yang telah digambarkan pada Gambar 10.

Model ini berpijak pada program STELLA II (r) dengan mempertimbangkan:

Neraca air dan N pada empat ke dalaman dari profil tanah, serapan air dan hara oleh tanaman semusim dan pohon yang ditentukan oleh total panjang akar dan kebutuhan tanaman.

Sistem pengelolaan tanaman seperti pemangkasan cabang pohon, jarak pohon, pemilihan spesies yang tepat dan berbagai dosis pemberian pupuk.

Karakteristik pohon, termasuk distribusi akar, bentuk kanopi, 'kualitas' seresah, tingkat pertumbuhan maksimum dan kecepatan untuk pulih kembali setelah pemangkasan.



Gambar 10. Komponen-komponen penyusun dalam model WaNuLCAS

Kelebihan lain dari model ini adalah dapat dipakai pada sistem tumpangsari (*simultaneous*) maupun rotasi, sehingga akan membantu peneliti untuk memperdalam pengertian akan kelanjutan dari sistem 'bera' menuju sistem yang menetap 'tumpangsari'.

Persamaan interaksi pohon-tanah-tanaman semusim dapat dianalisa sebagai berikut:

Selisih antara pengaruh pohon untuk jangka pendek (F1) dan panjang (F_w) terhadap kesuburan tanah.

Memisahkan kompetisi antara bagian atas tanah (C1) dan bagian bawah tanah (C_{n+w}).

Neraca untuk input hara dan air dalam sistem agroforestri dapat dihitung dengan persamaan 2 sebagai berikut:

$$\Delta \text{Tersimpan} = \text{Masukan} + \text{Recycle} - \text{Upt}_{\text{tan semusim}} - \text{Upt}_{\text{pohon, komp}} - \text{Upt}_{\text{pohon, non komp}} - \text{Kehilangan}$$

di mana,

- $\Delta \text{Tersimpan}$ = jumlah hara yang dapat tersimpan dalam tanah
- Recycle = jumlah hara yang dapat diambil dari lapisan bawah
- $\text{Upt}_{\text{tan semusim}}$ = jumlah serapan hara pada tanaman semusim
- $\text{Upt}_{\text{pohon, komp}}$ = jumlah serapan hara pada pohon dalam sistem agroforestri
- $\text{Upt}_{\text{pohon, non komp}}$ = jumlah serapan hara pada pohon dalam sistem monokultur
- Kehilangan = jumlah hara yang hilang dari dalam tanah

Parameter $\text{Upt}_{\text{pohon, non kompetitif}}$ mewakili fungsi akar pohon sebagai "jaring penyelamat hara" untuk hara yang tercuci ke lapisan bawah yang terjadi selama musim pertumbuhan (Van Noordwijk *et al.*, 1996), maupun sebagai "pemompa hara" pada lapisan bawah (Young, 1997). Penjabaran lebih rinci tentang parameter-parameter yang tertulis dalam persamaan tersebut di atas disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Penjabaran parameter pada persamaan 2 untuk penyerapan sumber energi oleh pohon dan tanaman semusim dalam sistem agroforestri.

Parameter	Air	Nitrogen	Cahaya
Input (masukan)	Curah hujan, irigasi, <i>run on</i> - <i>run off</i>	Pemupukan & masukan organik	Jumlah radiasi harian
Recycle (daur ulang)	Hydraulic pada akar tanaman	Seresah, pangkasan, sisa panen	-
Uptake _{Crop} (serapan)	Σ air_diserap-crop	N_fiksasi (Crop) + Σ N_diserap-tanaman semusim	Σ cahaya diserap-crop
Uptake _{Pohon, kompetisi} (serapan)	Σ_{top} air-diserap-pohon	Σ_{top} N_diserap-pohon	Σ cahaya diserap pohon _{1,2}
Uptake _{pohon, Noncomp} (serapan)	Σ_{sub} air_diserap-pohon	N_fiksasi(pohon) + Σ_{sub} N_diserap-pohon	Cahaya diserap pohon ₃
Kehilangan	Σ Perkolasi dari Zona terendah	Σ Pencucian dari 1 - zona terendah	Σ cahaya yg diserap
Δ tersimpan	Δ Kandungan air	Δ (Nmineral & BOT)	-

Keterangan:

Akar tanaman semusim diasumsikan mendominasi 'lapisan atas' sedang akar pohon mendominasi 'lapisan bawah'; huruf *subscript* 1, 2 dan 3 mewakili zonasi (jarak) terhadap pohon. (Crop=tan.pangan; *run on*= aliran permukaan masuk ke dalam plot; *run off*= aliran permukaan ke luar plot; N-mineral = NO₃⁻ + NH₄⁺, BOT = Bahan Organik Tanah)

Pertanyaan

- Bagaimana caranya memisahkan antara interaksi positif dan negatif yang ada pada sistem agroforestri?
- Buatlah rencana penelitian secara garis besar, perlakuan apa yang akan anda tetapkan untuk mengukur F dan C secara terpisah ?

4.3 Bagaimana cara menganalisis dan mensintesis interaksi Pohon-Tanah-Tanaman semusim pada sistem Agroforestri?

Untuk menjawab pertanyaan tersebut di atas, tiga langkah pendekatan melalui penetapan jenis perlakuan dalam percobaan sampai kepada penggunaan model WaNuLCAS disajikan pada Tabel 8 (Van Noordwijk *et al.*, 1998). Dalam Tabel tersebut disajikan jenis-jenis percobaan yang dilakukan untuk mengukur komponen dalam persamaan, pengukuran proses yang terjadi secara kuantitatif, sintesa model untuk melakukan perbaikan pengelolaan agroforestri.

Tabel 8. Proses analisa dan sintesa interaksi pohon-tanah-tanaman dalam agroforestri.

Y _c =	Y ₀ +	F ₁ +	F _∞ +	C ₁ +	C _{w+n} +	M
Produksi total tanaman pada sistem tumpang-sari	Produksi tanaman pada sistem monokultur	Pengaruh langsung terhadap Kesuburan	Pengaruh jangka panjang terhadap kesuburan tanah	Kompetisi akan cahaya	Kompetisi akan air dan hara	Pengaruh iklim Mikro
1. Metodologi percobaan		Transfer bahan organik sbg mulsa	Efek residu (pohon ditebang disbandingkan dng kontrol)	pohon ditebang dibanding kan dng kontrol	Pemasangan sekat akar (<i>root barriers</i>)	

$Y_c =$	$Y_0 +$	$F_1 +$	$F_\omega +$	$C_i +$	$C_{w+n} +$	M
2. Pengertian akan proses yang berlangsung		Kualitas seresah, kecepatan dekomposisi + mineralisasi	Fraksionasi BOT & fungsinya	Bentuk kanopi & sebaran cahaya	Pola sebaran akar	
3. Sintesis model		W A N U L C A S				

Perlu dicatat bahwa model matematika di sini hanyalah alat bantu yang bisa dipakai untuk meramalkan terjadinya interaksi antara tanaman semusim dan pohon, dan interaksi tersebut sangat dipengaruhi oleh tanah, iklim, keadaan fisik dan morfologi pohon (*tree architecture*). Dengan demikian model simulasi tersebut perlu divalidasi pada berbagai kondisi yang sebenarnya di lapangan.

4.4 Mengukur efisiensi sistem Agroforestri

Bagaimana merancang percobaan di lapangan untuk memisahkan pengaruh positif dan negatif pohon

Sebagai contoh, lihat contoh kasus yang disampaikan dalam Kolom 5.

Kolom 5. Interaksi pohon dan tanaman pangan pada sistem budidaya pagar (*hedgerow intercropping system*)

Berikut adalah contoh bagaimana mengevaluasi interaksi pohon dan tanaman pangan secara kuantitatif (seperti tercantum pada Tabel 8) pada sistem budi daya pagar berumur 7 tahun di Lampung. Tanaman jagung dipakai sebagai tanaman indikator, yang ditanam pada lorong-lorong di antara tanaman pagar.

Tujuan percobaan:

- Menentukan secara kuantitatif besarnya serapan cahaya oleh tanaman pagar.
- Menentukan secara kuantitatif besarnya kompetisi akar dalam menyerap air dan hara.
- Menentukan secara kuantitatif pengaruh residu dari pohon (tanaman pagar) setelah pohon ditebang

Penyusunan percobaan budidaya pagar:

Pada petak utama ditanam enam spesies tanaman pagar yang ditanam pada tahun 1986, yaitu: (a) *Peltophorum dasyrrachys*, (b) *Gliricidia sepium*, (c) Campuran selang-seling antar baris *Peltophorum* dan *Gliricidia*, (d) *Calliandra calothyrsus*, (e) *Leucaena leucocephala*, dan (f) *Flemingia congesta*. Sebagai kontrol, lahan tidak ditanami tanaman pagar, kemudian petak dibagi menjadi 4 untuk menguji respon tanaman terhadap 4 dosis pemupukan N:

- 0 kg ha⁻¹
- 45 kg ha⁻¹
- 90 kg ha⁻¹
- 135 kg ha⁻¹

Bagaimana menyusun perlakuan untuk mengevaluasi interaksi antara tanaman pagar dan tanaman pangan?

Dari petak utama dan anak petak tersebut di atas, maka dapat dipisahkan pengaruh positif dan negatif pohon terhadap tanaman pangan melalui analisis hasil sebagai berikut:

Kolom 5. (Lanjutan)

Parameter	Perlakuan
Naungan	<ul style="list-style-type: none">• Dengan Pemangkasan Tajuk• Tanpa Pemangkasan Tajuk
Kompetisi Air dan Hara	<ul style="list-style-type: none">• Dengan Penyekat Akar• Tanpa Penyekat Akar
Mulsa	<ul style="list-style-type: none">• Dengan Penambahan Biomasa sebagai mulsa• Tanpa Penambahan Biomasa
Pengaruh Residu Tanaman (pengaruh jangka panjang)	<ul style="list-style-type: none">• Dengan Penebangan Pohon/tanaman Pagar• Tanpa Penebangan Pohon/Tanaman Pagar
Total Plot	Ada 8 sub plot per spesies pohon

Hasil

Hasil dari percobaan ini menunjukkan bahwa *Peltophorum* secara konsisten memberikan pengaruh yang menguntungkan terhadap produksi tanaman semusim (jagung) selama 2 musim tanam. Setelah penebangan tanaman pagar (umur 8 tahun) dan diangkat keluar plot, ternyata tanaman jagung yang ditanam pada lahan tersebut menunjukkan respon yang sangat nyata terhadap 'pengaruh residu' yang ditinggalkan oleh pohon.

Pengaruh yang ditinggalkan oleh pohon bisa berupa kesuburan tanah yang 'baik', yang dapat dievaluasi dengan membandingkan produksi jagung yang diperoleh pada petak tersebut dengan produksi jagung pada petak kontrol (Gambar 11A).

Berdasarkan data produksi rata-rata selama dua musim tanam, dapat dilihat bahwa produksi yang diperoleh pada petak *Calliandra* dan *Leucaena* lebih tinggi bila dibandingkan dengan produksi yang diperoleh dari penambahan pupuk N sebanyak 135 kg ha⁻¹. Hal ini menunjukkan besarnya peranan bahan organik (terutama yang berasal dari akar) dari kedua tanaman tersebut terhadap perbaikan kesuburan tanah (F).

Namun demikian untuk kondisi 'normal' (masukan dari tanaman bagian atas dan bagian bawah tanaman), hanya *Peltophorum* yang mampu memberikan produksi jagung lebih tinggi daripada kontrol. Perbedaan terbesar dikarenakan kecilnya pengaruh naungan, pengaruh pemberian mulsa dan interaksi bawah tanah (Gambar 11 B).

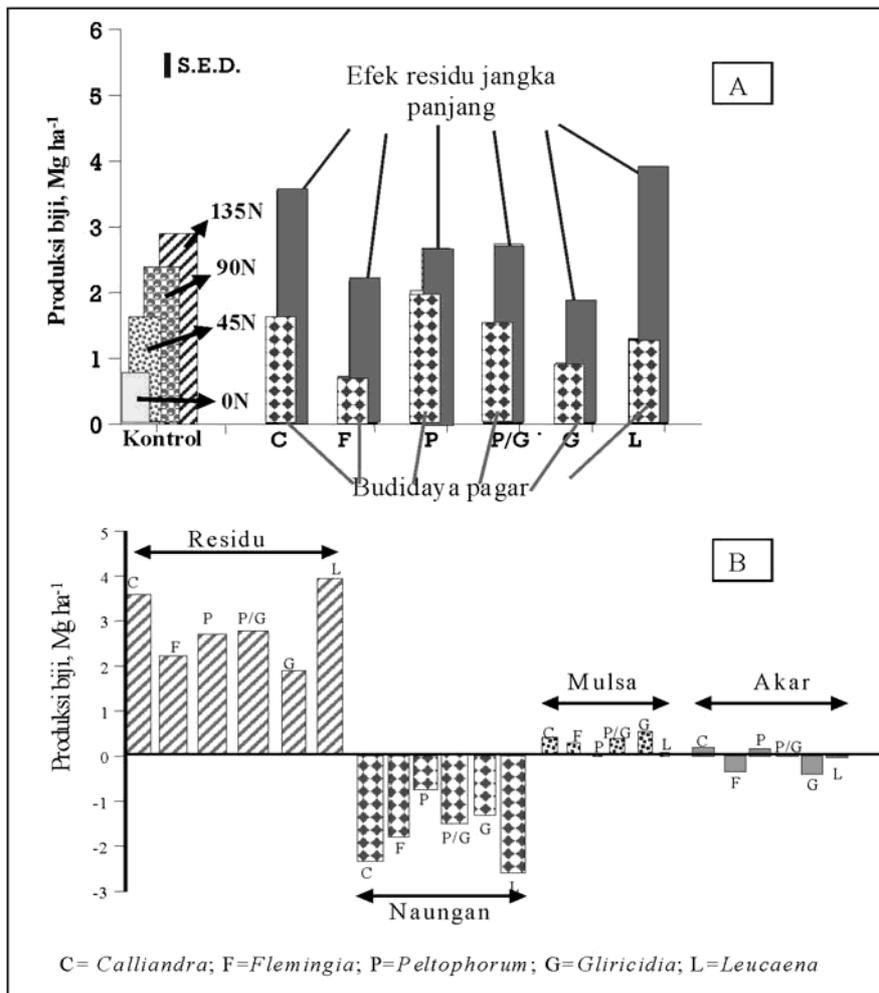
Pada musim tanam kedua (bulan Februari-Mei), produksi tanaman rendah pada semua perlakuan, karena kondisi yang lebih kering daripada tahun-tahun sebelumnya. Pada kondisi ini, jagung menunjukkan respon yang negatif terhadap pemupukan N (produksi terendah diperoleh pada tingkat pemupukan N tertinggi), tetapi residu pohon masih menunjukkan pengaruh positif. Tidak ada perbedaan pengaruh antara pemberian mulsa sebanyak 9 Mg ha⁻¹ (normal) dengan pemberian 18 Mg ha⁻¹. Informasi ini sangat menguntungkan untuk tujuan praktis di lapangan. Faktor pembatas utama pertumbuhan tanaman pada kondisi ini nampaknya adalah ketersediaan air, karena ketersediaan P telah dikoreksi dengan menambahkan pupuk P ke semua plot.

Tabel 9 memberikan ringkasan analisis interaksi pohon dan tanaman jagung berdasarkan pada tingkat perbaikan kesuburan tanah (F) dan kompetisinya (C), yang ditunjukkan dengan produksi jagung yang diperoleh. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa *Peltophorum* memberikan neraca yang positif, pengaruh positifnya lebih besar daripada pengaruh negatifnya. Spesies ini memiliki daya kompetisi lebih rendah daripada spesies lainnya dikarenakan: *sistem perakarannya yang dalam* dan memiliki *sebaran kanopi yang lebih terpusat di dekat batang pokoknya*, sehingga memberikan nisbah mulsa: naungan yang lebih tinggi.

Kolom 5. (Lanjutan)

Tabel 9. Analisis interaksi pohon dan tanaman pangan berdasarkan pengaruhnya terhadap kesuburan tanah (F) dan kompetisi © terhadap produksi jagung

Spesies	Pengaruh kesuburan (%)	Pengaruh kompetisi (%)	Interaksi (%)
<i>Leucaena</i>	152	-159	-7
<i>Calliandra</i>	120	-115	+5
<i>Peltophorum</i>	58	-26	+32
<i>Flemingia</i>	37	-89	-52
<i>Gliricidia</i>	19	-60	-41



Gambar 11. Pengaruh jangka panjang (residu tanaman) terhadap produksi biji jagung berdasarkan data rata-rata dua musim tanam (A) dan interaksi positif dan negatif dari tanaman pagar pada sistem budidaya pagar (B). Perlakuan kontrol adalah mencerminkan respon tanaman jagung monokultur terhadap pemupukan N (s.e.d = standard error of deviations).

4.5 Hasil dan keterbatasan model

Dari segi biofisik, sistem agroforestri memberikan keuntungan bila sebaran tajuknya tidak membatasi penyerapan cahaya bagi tanaman semusim. Pendekatan empiris secara langsung untuk mengkuantifikasi pengaruh menguntungkan dari bagian atas tanah relatif lebih mudah daripada bagian bawah tanah. Sumber energi (*resources*) yang tersimpan untuk jangka panjang

(misalnya ketersediaan bahan organik tanah) menimbulkan kesukaran untuk memutuskan apakah sumber tersebut dapat atau tidak dipakai di luar konteks agroforestri. Guna menghasilkan estimasi keuntungan per musim, model simulasi untuk Interaksi Pohon-Tanah dan Tanaman Semusim dalam sistem agroforestri harus lebih mempertimbangkan pengaruh masing-masing komponen dalam menyerap air dan hara setiap hari.

5. Mengelola Interaksi Pohon-Tanah-Tanaman Semusim

Dalam sub-bab sebelumnya, telah diuraikan berbagai macam interaksi positif (yang menguntungkan) dan yang negatif (merugikan). Dalam studi kasus 5 juga ditunjukkan bahwa jagung menghasilkan produksi yang terbesar jika dikombinasikan dengan *Peltophorum*, dikarenakan pengaruh positifnya yang lebih besar dibandingkan dengan pengaruh negatifnya. Kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa suksesnya sistem agroforestri bukan hanya terletak pada pemilihan jenis pohon yang menguntungkan.

Kunci keberhasilan dari sistem agroforestri sangat tergantung dari pengelolaan pohon yang dapat menekan pengaruh yang merugikan dan memaksimalkan pengaruh yang menguntungkan (dengan kebutuhan tenaga kerja yang masih dapat diterima).

a) Menekan pengaruh negatif pohon

Interaksi pohon-tanah-tanaman tergantung pada pertumbuhan dan bentuk spesifik dari pohon, baik pada bagian tajuk maupun akar tanaman. Sangatlah menarik untuk mengkaji seberapa besar aspek-aspek tersebut dapat dipengaruhi oleh adanya pengelolaan tajuk tanaman.

Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk menekan pengaruh merugikan dari pohon, antara lain adalah:

- Mengatur tajuk pohon
Tinggi tanaman semusim biasanya lebih rendah daripada pohon. Hal ini menyebabkan pohon dapat menciptakan naungan, sehingga menurunkan jumlah cahaya yang dapat dipergunakan tanaman semusim untuk pertumbuhannya. Untuk mengurangi pengaruh merugikan pohon terhadap tanaman semusim tersebut, petani biasanya mengatur jarak tanam sekaligus melakukan pemangkasan beberapa cabang pohon.
- Mengatur pertumbuhan akar
Dalam melakukan pemangkasan cabang pohon, ada dua hal yang perlu diperhatikan dengan seksama adalah tinggi pangkasan dari permukaan tanah dan frekuensi pemangkasan (lihat Kolom 6). Tinggi pangkasan batang yang terlalu dekat dengan permukaan tanah akan mendorong terbentuknya akar-akar halus pada tanah lapisan atas, sehingga peluang untuk terjadinya kompetisi akan air dan hara dengan tanaman semusim menjadi lebih besar. Hal yang sama juga akan terjadi bila frekuensi pemangkasan tinggi. Dangkalnya sistem perakaran pohon sebagai akibat pengelolaan pohon yang kurang tepat ini juga akan merugikan pertumbuhan pohon itu sendiri. Perakaran yang dangkal mengakibatkan pohon menjadi kurang tahan terhadap kekeringan pada musim kemarau. Cara menanam pohon di lapangan juga menentukan ke dalaman perakaran. Bibit pohon yang ditanam langsung dari biji biasanya diperoleh sistem perakaran yang cenderung lebih dalam daripada yang ditanam

berupa stek batang, atau melalui persemaian dalam polibag. Contoh kasus yang berhubungan dengan penyediaan bibit pohon tersebut dapat dilihat pada Kolom 7.

Saran Pengelolaan Pohon:

- Naungan dikurangi dengan jalan pemangkasan cabang pohon selama musim tanam, tetapi dibiarkan tumbuh pada musim kemarau untuk menekan pertumbuhan gulma (misalnya alang-alang).
- Pemangkasan pertama bisa dilakukan bila pohon telah berumur minimal 2 tahun.
- Tinggi pangkasan minimal 75 cm dari permukaan tanah. Pemangkasan lebih rendah dari 75 cm akan menyebabkan pertumbuhan akar pohon terpusat pada lapisan tanah atas, sehingga menimbulkan kompetisi dengan tanaman semusim.
- Frekuensi pemangkasan tidak lebih dari 3x dalam setahun. Pemangkasan tajuk yang terlalu sering mendorong terbentuknya akar halus pada lapisan atas.
- Teknik menanam pohon dapat dilakukan dengan jalan menanam biji langsung di lapangan, stek atau dari bibit cabutan tergantung dari bahan tanam dan tenaga yang tersedia. Bila bahan tanam stek tersedia menanam stek lebih cepat dan mengurangi populasi gulma.

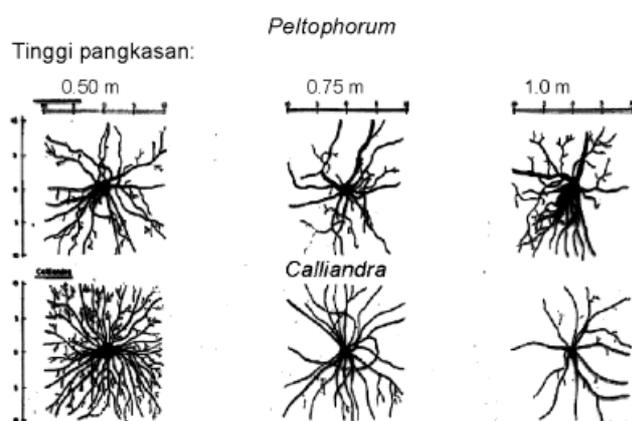
b) Meningkatkan pengaruh positif pohon: pemilihan jenis tanaman naungan

Besarnya pengaruh naungan pohon dalam agroforestri menyebabkan tidak semua jenis tanaman dapat ditanam bersama pepohonan. Oleh karena itu pemilihan jenis tanaman yang toleran terhadap naungan dalam agroforestri sangat diperlukan. Untuk bahan pertimbangan dalam seleksi jenis pohon yang dapat dipertimbangkan untuk digunakan sebagai komponen agroforestri disajikan di Lampiran 1.

Kolom 6. Pemangkasan pohon, kapan dan pada ketinggian berapa pemangkasan pohon dilakukan?

Percobaan lapangan dilakukan pada tanah Ultisol, di Pakuan Ratu, Lampung, bertujuan untuk mengetahui pengaruh tinggi pangkasan pohon terhadap sebaran akar pada pohon petaian (*Peltophorum*) dan *Calliandra calothyrsus*. Tanaman dipangkas pada ketinggian yaitu: 0,50; 0,75 atau 1,0 m dari permukaan tanah. Hasilnya menunjukkan bahwa tinggi pangkasan yang rendah (dekat dengan permukaan tanah) mengakibatkan tanaman membentuk lebih banyak akar kecil pada lapisan permukaan 0-10 cm (Gambar 12).

Hasil yang sama akan diperoleh bila tajuk sering dipangkas.



Gambar 12. Sebaran akar *Peltophorum* dan *Calliandra* pada ke dalaman 10 cm setelah 6 bulan dipangkas pada berbagai ketinggian. Semakin rendah tingkat pangkasan pohon semakin banyak akar halus dijumpai pada bagian permukaan tanah (Hairiah *et al.*, 1992)

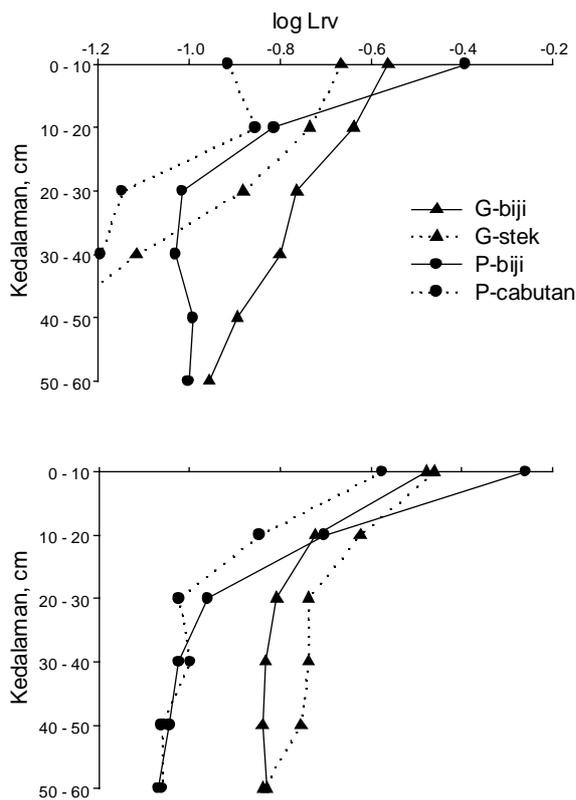
Kolom 6. (Lanjutan)

Adanya pemangkasan tajuk tanaman menyebabkan berkurangnya aktivitas akar. Pertumbuhan tajuk tanaman kembali akan diikuti pula oleh pertumbuhan akar-akar baru.

Hasil penelitian ini merupakan informasi yang berguna bagi petani yang melakukan praktek wanatani di lahannya terutama pada daerah-daerah kering. Semakin banyak akar yang terbentuk pada lapisan atas, maka semakin besar pula kemungkinan terjadinya kompetisi akan air dan hara antar tanaman. Tanaman yang memiliki perakaran dangkal biasanya kurang tahan terhadap kekeringan. Hasil percobaan ini menunjukkan bahwa pemangkasan pertama sebaiknya dilakukan bila tanaman telah cukup dewasa (sekitar 2 tahun) di mana akar tanaman telah tumbuh cukup dalam. Pelajaran berguna yang bisa diambil adalah:

- Tinggi pangkasan dilakukan pada ketinggian minimal 0,75 m
- Pemangkasan pertama sebaiknya dilakukan bila pohon telah berumur minimal 2 tahun

Kolom 7. Teknik penanaman pohon yang tepat untuk mendapatkan perkembangan akar yang dalam.



Percobaan dilakukan di lapangan di daerah Pakuan Ratu, Lampung, untuk mendapatkan teknik penyediaan bibit pohon yang tepat agar diperoleh distribusi sistem perakaran yang dalam. Jenis pohon yang dicoba adalah petaian (*Peltophorum*) dan gamal (*Gliricidia*). Teknik penyediaan bibit petaian yang dibandingkan adalah: (a) biji ditanam langsung di lapangan, (b) menanam bibit cabutan (putaran). Sedangkan untuk gamal adalah: (a) biji ditanam langsung di lapangan, (b) menanam dari stek sepanjang 50 cm. Pengukuran total panjang akar (Lrv) dan berat biomasa tajuk dilakukan setelah tanaman berumur 1 tahun, dengan selang periode pengamatan 3 bulan.

Gambar 13. Total panjang akar (Lrv) petaian dan gamal pada berbagai ke dalam tanah dengan perlakuan teknik penanaman

Kolom 7. (Lanjutan)

Hasil pengamatan total panjang akar (Lrv, cm cm⁻³ tanah) pada periode pertama (umur 15 bulan) menunjukkan bahwa menanam pohon langsung dari biji memberikan total panjang akar lebih tinggi daripada dari cabutan atau stek (Gambar 10, atas). Namun pada periode pengamatan berikutnya, perbedaan tersebut secara bertahap mengecil. Pada periode ketiga, tidak dijumpai lagi adanya perbedaan total panjang akar dari kedua teknik penanaman pada ke-2 jenis tanaman yang diuji (Gambar 10, bawah).

Penanaman pohon langsung dari biji, sebenarnya lebih murah dan tidak membutuhkan tenaga yang banyak. Namun pertumbuhan pohon yang ditanam dengan teknik ini sangat lambat pada awalnya, sehingga memerlukan tenaga ekstra untuk penanggulangan gulma di sekeliling pohon. Bila penyediaan stek memungkinkan, maka teknik penanaman stek lebih menguntungkan karena pohon tumbuh dengan cepat sehingga menutupi permukaan

6. Kesimpulan

Dari uraian di atas jelas bahwa setiap komponen penyusun agroforestri berperan dalam mengubah lingkungannya. Perubahan lingkungan ini dapat merugikan ataupun menguntungkan komponen yang lain baik dalam jangka pendek maupun panjang. Keberhasilan usaha pertanian dengan menggunakan sistem agroforestri sangat tergantung pada tingkat pemahaman interaksi antara pohon-tanah-tanaman semusim. Pemahaman interaksi ini dapat berdasarkan pengamatan, pengalaman, maupun penelitian di lapangan. Model simulasi interaksi pohon-tanah-tanaman ini, contohnya WaNuLCAS, sangat membantu dalam memahami proses-proses yang terjadi. Pengalaman menunjukkan bahwa pada dasarnya pengelolaan agroforestri terletak pada usaha menekan pengaruh yang merugikan dan mengoptimalkan pengaruh yang menguntungkan, dengan mengatur penampilan fisik dan morfologi pohon.

Bahan Bacaan

Buku Ilmiah (book chapters)

- Akyeampong E, B Duguma, AM Heineman, CS Kamara, P Kiepe, F Kwesiga, CK Ong, HJ Otieno and MR Rao, 1995. A synthesis of ICRAF's research on alley cropping. *In: Alley farming research and development*. AFNETA, Ibadan, Nigeria. pp 40-51.
- Van Noordwijk M, K Hairiah, B Lusiana and G Cadisch, 1998. Tree-soil-crop interactions in sequential and simultaneous agroforestry systems. *In: Bergstrom L and Kirchmann H (eds.). Carbon and nutrient dynamics in natural and agricultural tropical ecosystems*. CAB International, Wallingford, UK. pp 173-191.

Jurnal ilmiah

- Rowe E, K Hairiah, KE Giller, M van Noordwijk and G Cadisch, 1999. Testing the "safety-net" role of hedgerow tree roots by ¹⁵N placement at different soil depths. *Agroforestry Systems*. *Agroforestry Systems* 43(1-3):81-93. Kluwer Academic Publisher and ICRAF.
- Suprayogo D, K Hairiah, M van Noordwijk, K Giller and G Cadisch, 1999. The effectiveness of hedgerow cropping system in reducing mineral N-leaching in Ultisol. *In: C Ginting, A Gafur, FX Susilo, AK Salam, A Karyanto, SD Utomo, M Kamal, J Lumbanraja and Z Abidin (eds.). Proc. Int. Seminar Toward Sustainable Agriculture in the Humid Tropics Facing 21st Century UNILA, Lampung*. p. 96-106.
- Widianto, H Noveras, D Suprayogo, RH Widodo, P Purnomosidhi dan M van Noordwijk. 2002. Konversi Hutan Menjadi Lahan Pertanian: Apakah fungsi hidrologis hutan dapat digantikan oleh agroforestri berbasis kopi? Seminar Nasional HITI, 27 -29 Mei 2002, Mataram

Buku Teks (Textbook)

- Ong CK and P Huxley, 1996. *Tree-crop interactions – A physiological approach*. CAB International, Wallingford, UK. 386 p.
- Vandermeer JH (1989). *The ecology of intercropping*. Cambridge Univ. Press. Cambridge, UK.
- Huxley PH, 1999. *Tropical Agroforestry*. Blackwell Science Ltd, UK. ISBN 0-632-04047-5. 371p.
- Hairiah K, Widianto, SR Utami, D Suprayogo, Sunaryo, SM Sitompul, B Lusiana, R Mulia, M van Noordwijk dan G Cadisch, 2000. *Pengelolaan Tanah Masam Secara Biologi: Refleksi Pengalaman dari Lampung Utara*. ICRAF SE Asia, Bogor, 182 p.
- Young, 1997. *Agroforestry for soil management*. Second edition. CABI International. ISBN 0 85199 1890, 320 pp.
- Hairiah K, D Suprayogo dan M van Noordwijk, 2002. *Interaksi Pohon-Tanah-Tanaman semusim*. (Dalam: Hairiah K, Widianto, SR Utami dan B Lusiana (Editor): *WaNuLCAS model simulasi untuk sistem Agroforestri*. ICRAF Bogor, ISBN 979-3198-03-6, p 19-39.

Buku Pedoman (Booklet)

- Hairiah K, SR Utami, D Suprayogo, Widianto, SM Sitompul, Sunaryo, B Lusiana, R Mulia, M van Noordwijk dan G Cadisch, 2000. *Agroforestri pada tanah masam di daerah tropika basah: Pengelolaan interaksi antara pohon-tanah-tanaman semusim*. ISBN 979-95537-5-X. 41 p.

Materi Training

- Anonymous, 1998. *Pedoman Agroforestry dalam Perhutanan Sosial*. Perum Perhutani (*dalam: Handbook of Indonesian Forestry*). Dept. Kehutanan RI. Koperasi Karyawan Departemen Kehutanan RI.

- Hairiah K dan Sunaryo, 1999. Interaksi Pepohonan-Tanah-Tanaman Semusim. Lecture Note Wanatani, Pusdiklat Kehutanan.
- Torquebiau E, 1994. Ecological interactions in agroforestry. ICRAF-DSO course, Nairobi, Kenya.
- Van Noordwijk M and B Lusiana, 1999. WANULCAS 1.2. Backgrounds of a model of water, nutrient and light capture in agroforestry systems. ICRAF SE. Asia, Bogor.
- Van Noordwijk M and K Hairiah, 1999. Tree-soil-crop interactions. Agroforestry lecture notes. ICRAF SE. Asia, Bogor.

Web site

<http://www.worldagroforestrycentre.org/sea/AgroModels/Agromodels.htm>

<http://www.icraf.cgiar.org/sea/AgroModels/Agromodels.htm>

Lampiran 1. Daftar Tanaman Untuk Zone Agroekosistem di Jawa dengan tipe iklim C, ketinggian 0–700 m di atas permukaan laut. (Sumber: Perum Perhutani, 1998. Pedoman Agroforestri dalam Perhutanan Sosial).

Stratum Atas		
Tanah Kapur	Tanah Vulkanis	Tanah Lain/Campur
<i>Acacia auriculiformis</i>	<i>Acacia auriculiformis</i>	<i>Acacia auriculiformis</i>
<i>Albizia falcataria</i>	<i>Albizia falcataria</i>	<i>Acacia mangium</i>
<i>Albizia lebbek</i>	<i>Anacardium occidentale</i>	<i>Albizia falcataria</i>
<i>Anacardium occidentale</i>	<i>Anthocephalus chinensis</i>	<i>Anthocephalus occidentale</i>
<i>Artocarpus communis</i>	<i>Artocarpus communis</i>	<i>Anthocephalus chinensis</i>
<i>Artocarpus heterophyllus</i>	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	<i>Artocarpus communis</i>
<i>Cassia siamea</i>	<i>Cassia siamea</i>	<i>Artocarpus heterophyllus</i>
<i>Ceiba petandra</i>	<i>Ceiba petandra</i>	<i>Cassia siamea</i>
<i>Dalbergia latifolia</i>	<i>Durio zibethinus</i>	<i>Ceiba petandra</i>
<i>Gmelina arborea</i>	<i>Osmelina arborea</i>	<i>Dalbergia latifolia</i>
<i>Mangifera indica</i>	<i>Mangifera indica</i>	<i>Durio zibethinus</i>
<i>Melaleuca spp</i>	<i>Parkia roxbughii</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>
<i>Parkia speciosa</i>	<i>Parkia speciosa</i>	<i>Osmelina arborea</i>
<i>Peronema canescens</i>	<i>Peronema canescens</i>	<i>Mangifera indica</i>
<i>Pithecellobium lobatum</i>	<i>Pinus merkuuii</i>	<i>Peronema canescens</i>
<i>Sterculia foetida</i>	<i>Pithecellobium lobatum</i>	<i>Pithecellobium lobatum</i>
<i>Swietenia macrophylla</i>	<i>Samanea saman</i>	<i>Pinus merkusii</i>
<i>Swietenia mahogani</i>	<i>Schleichera oleosa</i>	<i>Samanea saman</i>
	<i>Spondias dulcis</i>	<i>Schleichera oleosa</i>
	<i>Melaleuca spp</i>	<i>Spondias dulcis</i>
	<i>Parkia sp</i>	<i>Sterculia foetida</i>
	<i>Tectona grandis</i>	<i>Swietenia macrophylla</i>
	<i>Toona swam</i>	<i>Swietenia mahogani</i>
		<i>Tectona grandis</i>
		<i>Toona sureni</i>
Stratum Tengah		
Tanah Kapur	Tanah Vulkanis	Tanah Lain/Campuran
<i>Acacia arabica</i>	<i>Acacia arabica</i>	<i>Acacia arabica</i>
<i>Acacia leucophloea</i>	<i>Annona muricata</i>	<i>Acacia leucophloea</i>
<i>Annona muricata</i>	<i>Annona squamosa</i>	<i>Annona muricata</i>
<i>Annona squamosa</i>	<i>Averrhoa bilimbi</i>	<i>Annona squamosa</i>
<i>Averrhoa bilimbi</i>	<i>Bixa orellana</i>	<i>Averrhoa bilimbi</i>
<i>Caesalpinia bonducella</i>	<i>Caesalpinia bonducella</i>	<i>Bixa orellana</i>
<i>Cajanus cajan</i>	<i>Cajanus cajan</i>	<i>Caesalpinia bonducella</i>
<i>Calliandra calothyrsus</i>	<i>Calliandra calothyrsus</i>	<i>Cajanus cajan</i>
<i>Cananga odorata</i>	<i>Cananga odorata</i>	<i>Calliandra calothyrsus</i>
<i>Carica papaya</i>	<i>Carica papaya</i>	<i>Cananga odorata</i>
<i>Casuarina equisetifolia</i>	<i>Coffea robusta</i>	<i>Carica papaya</i>
<i>Gliricidia sepium</i>	<i>Flemengia macrophylla</i>	<i>Casuarina equisetifolia</i>
<i>Gnetum gnemon</i>	<i>Gliricidia sepium</i>	<i>Gliricidia sepium</i>
<i>Leucaena diversifolia</i>	<i>Gnetum gnemon</i>	<i>Gnetum gnemon</i>
<i>Leucaena leucocephala</i>	<i>Lansium domesticum</i>	<i>Coffea robusta</i>
<i>Manilkara kauki</i>	<i>Leucaena diversifolia</i>	<i>Lansium domesticum</i>
<i>Pandanus spp</i>	<i>Manilkara kauki</i>	<i>Leucaena diversifolia</i>
<i>Pithecellobium dulce</i>	<i>Morinda citrifolia</i>	<i>Leucaena leucocephala</i>
<i>Psidium guajava</i>	<i>Moringa oleifera</i>	<i>Manilkara kauki</i>
<i>Santalum album</i>	<i>Musa spp</i>	<i>Morinda citrifolia</i>
<i>Sesbania grandiflora</i>	<i>Nephelium lappaceum</i>	<i>Moringa oleifera</i>
<i>Syzygium cumini</i>	<i>Pandanus spp</i>	<i>Musa spp</i>
<i>Zalacca edulis</i>	<i>Passiflora edulis</i>	<i>Nephelium lappaceum</i>
	<i>Persea americana</i>	<i>Pithecellobium dulce</i>
	<i>Pithecellobium dulce</i>	<i>Pogostemon cablin</i>
	<i>Pogostemon cablin</i>	<i>Psidium guajava</i>
		<i>Santalum album</i>

Stratum Bawah		
Tanah Kapur	Tanah Vulkanis	Tanah Lain/Campuram
<i>Allium spp</i>	<i>Allium spp</i>	<i>Allium spp</i>
<i>Amomum cardamomum</i>	<i>Amomum cardamomum</i>	<i>Amomum cardamomum</i>
<i>Amorphophallus campanulatus</i>	<i>Ananas comosus</i>	<i>Amorphophallus campanulatus</i>
<i>Amorphophallus variabilis</i>	<i>Arachis hypogaea</i>	<i>Amorphophallus variabilis</i>
<i>Ananas comosus</i>	<i>Boesenbergia pandurata</i>	<i>Ananas comosus</i>
<i>Arachis hypogaea</i>	<i>Brassica oleracea</i>	<i>Arachis hypogaea</i>
<i>Boesenbergia pandurata</i>	<i>Canna edulis</i>	<i>Boesenbergia pandurata</i>
<i>Capsicum annum</i>	<i>Catimbium malaccensis</i>	<i>Capsicum annum</i>
<i>Catimbium malaccensis</i>	<i>Colocasia esculenta</i>	<i>Catimbium malaccensis</i>
<i>Colocasia esculenta</i>	<i>Curcuma aeruginosa</i>	<i>Colocasia esculenta</i>
<i>Curcuma aeruginosa</i>	<i>Curcuma domestica</i>	<i>Curcuma aeruginosa</i>
<i>Curcuma domestica</i>	<i>Curcuma heyneana</i>	<i>Curcuma domestica</i>
<i>Curcuma heyneana</i>	<i>Curcuma purpurascens</i>	<i>Curcuma heyneana</i>
<i>Curcuma purpurascens</i>	<i>Curcuma xanthorrhiza</i>	<i>Curcuma purpurascens</i>
<i>Curcuma xanthorrhiza</i>	<i>Curcuma zeodaria</i>	<i>Curcuma xanthorrhiza</i>
<i>Curcuma zeodaria</i>	<i>Daucus carota</i>	<i>Curcuma zeodaria</i>
<i>Dioscorea alata</i>	<i>Dioscorea alata</i>	<i>Dioscorea alata</i>
<i>Dioscorea esculenta</i>	<i>Dioscorea esculenta</i>	<i>Dioscorea esculenta</i>
<i>Dioscorea hispida</i>	<i>Dioscorea hispida</i>	<i>Dioscorea hispida</i>
<i>Dolichos lablab</i>	<i>Dolichos lablab</i>	<i>Dolichos lablab</i>
<i>Glycine max</i>	<i>Glycine max</i>	<i>Glycine max</i>
<i>Helianthus annuus</i>	<i>Hedycum coronarium</i>	<i>Helianthus annuus</i>
<i>Ipomoea batatas</i>	<i>Helianthus annuus</i>	<i>Ipomoea batatas</i>
<i>Languas galanga</i>	<i>Ipomoea batatas</i>	<i>Kaempferia galanga</i>
<i>Manihot esculenta</i>	<i>Kaempferia galanga</i>	<i>Languas galanga</i>
<i>Oryza sativa</i>	<i>Languas galanga</i>	<i>Manihot esculenta</i>
<i>Pachyrhizus erosus</i>	<i>Manihot esculenta</i>	<i>Oryza sativa</i>
<i>Panicum maximum</i>	<i>Oryza sativa</i>	<i>Pachyrhizus erosus</i>
<i>Piper nigrum</i>	<i>Pachyrhizus erosus</i>	<i>Panicum maximum</i>
<i>Sesamum indicum</i>	<i>Panicum maximum</i>	<i>Piper nigrum</i>
<i>Setaria spp.</i>	<i>Hascolus vulgaris</i>	<i>Sesamum indicum</i>
<i>Vanilla fragrans</i>	<i>Piper nigrum</i>	<i>Setaria spp</i>
<i>Xanthosoma spp</i>	<i>Sesamum indicum</i>	<i>Vigna radiata</i>
<i>Zea mays</i>	<i>Setaria spp</i>	<i>Vanilla fragrans</i>
<i>Zingiber officinale</i>	<i>Solanum tuberosa</i>	<i>Xanthosoma spp</i>
	<i>Vigna radiata</i>	<i>Zea mays</i>
	<i>Vanilla fragrans</i>	<i>Zingiber officinale</i>
	<i>Xanthosoma spp</i>	
	<i>Zea mays</i>	
	<i>Zingiber officinale</i>	

DAFTAR BAHAN AJARAN AGROFORESTRI

1. Pengantar Agroforestri. *Penulis: Mustofa Agung Sardjono, Kurniatun Hairiah, Sambas Sabarnurdin.*
 2. Klasifikasi Agroforestri. *Penulis: Mustofa Agung Sardjono, Tony Djogo, Hadi Susilo Arifin, Nurheni Wijayanto.*
 3. Fungsi dan Peran Agroforestri. *Penulis: Widiyanto, Kurniatun Hairiah, Didik Suharjito, Mustofa Agung Sardjono.*
 4. Peran Agroforestri pada Skala Plot: Analisis komponen agroforestri sebagai kunci keberhasilan atau kegagalan pemanfaatan lahan. *Penulis: Didik Suprayogo, Kurniatun Hairiah, Sunaryo, Meine van Noordwijk.*
 5. Aspek Sosial Ekonomi dan Budaya Agroforestri. *Penulis: Didik Suharjito, Leti Sundawati, Sri Rahayu Utami, Suyanto.*
 6. Pengelolaan dan Pengembangan Agroforestri. *Penulis: Widiyanto, Nurheni Wijayanto, Didik Suprayogo, Meine van Noordwijk, Betha Lusiana.*
 7. Peranan Pengetahuan Ekologi Lokal dalam Sistem Agroforestri. *Penulis: Sunaryo, Laxman Joshi.*
 8. Kelembagaan dan Kebijakan dalam Pengembangan Agroforestri. *Penulis: Tony Djogo, Sunaryo, Didik Suharjito, Martua Sirait.*
 9. Prospek Penelitian dan Pengembangan Agroforestri. *Penulis: Kurniatun Hairiah, Sri Rahayu Utami, Bruno Verbist, Meine van Noordwijk, Mustofa Agung Sardjono.*
- Bahan Latihan. *Penulis: Hadi Susilo Arifin, Mustofa Agung Sardjono, Leti Sundawati, Tony Djogo.*

DAFTAR PENULIS dan PENYUMBANG NASKAH

Bruno Verbist
ICRAF-SEA, Jl. CIFOR, Situgede,
Bogor 16680; e-mail: B.Verbist@cgiar.org

Didik Suprayogo
Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian,
Universitas Brawijaya, Jl. Veteran, Malang 165145;
e-mail: Didiek.Suprayogo@telkom.net

Didik Suharjito
Fakultas Kehutanan, IPB, PO Box 69, Bogor 16001;
e-mail: sosekhut@indo.net.id

G. A. Wattimena
Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian,
IPB, Kampus Darmaga, PO Box 168, Bogor 16680

Hadi Susilo Arifin
Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian,
IPB, Kampus Darmaga, PO Box 168, Bogor 16680;
e-mail: hsarifin@indo.net.id

Kurniatun Hairiah
Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas
Brawijaya, Jl. Veteran, Malang 165145 ;
e-mail: di *Malang*: safods.unibraw@telkom.net;
di *Bogor*: K.Hairiah@cgiar.org

Laxman Joshi
ICRAF-SEA, Jl. CIFOR, Situgede, Bogor 16680;
e-mail: L.Joshi@cgiar.org

Leti Sundawati
Fahutan – IPB, PO Box 69, Bogor 16001;
e-mail: akecuina@cbn.net.id

Martua Sirait
ICRAF-SEA, Jl. CIFOR, Situgede, Bogor 16680;
e-mail: M.Sirait@cgiar.org

Meine van Noordwijk
ICRAF-SEA, Jl. CIFOR, Situgede, Bogor 16680;
e-mail: M.van-Noordwijk@cgiar.org

Mustofa Agung Sardjono
Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman, Jl. M.
Yamin Kampus Gunung Kelua, Samarinda 75123,
Kalimantan Timur, PO Box 1013;
e-mail: gung@samarinda.wasantara.net.id;
MA_Sardjono@yahoo.com.au

Nurheni Wijayanto
Fahutan – IPB, PO Box 69, Bogor 16001;
e-mail: nurheniw@indo.net.id

Sambas Sabarnurdin
Fakultas Kehutanan, Universitas Gajah Mada,
Jl. Agro Bulaksumur Yogyakarta 55281;
e-mail: sambas@lycos.com

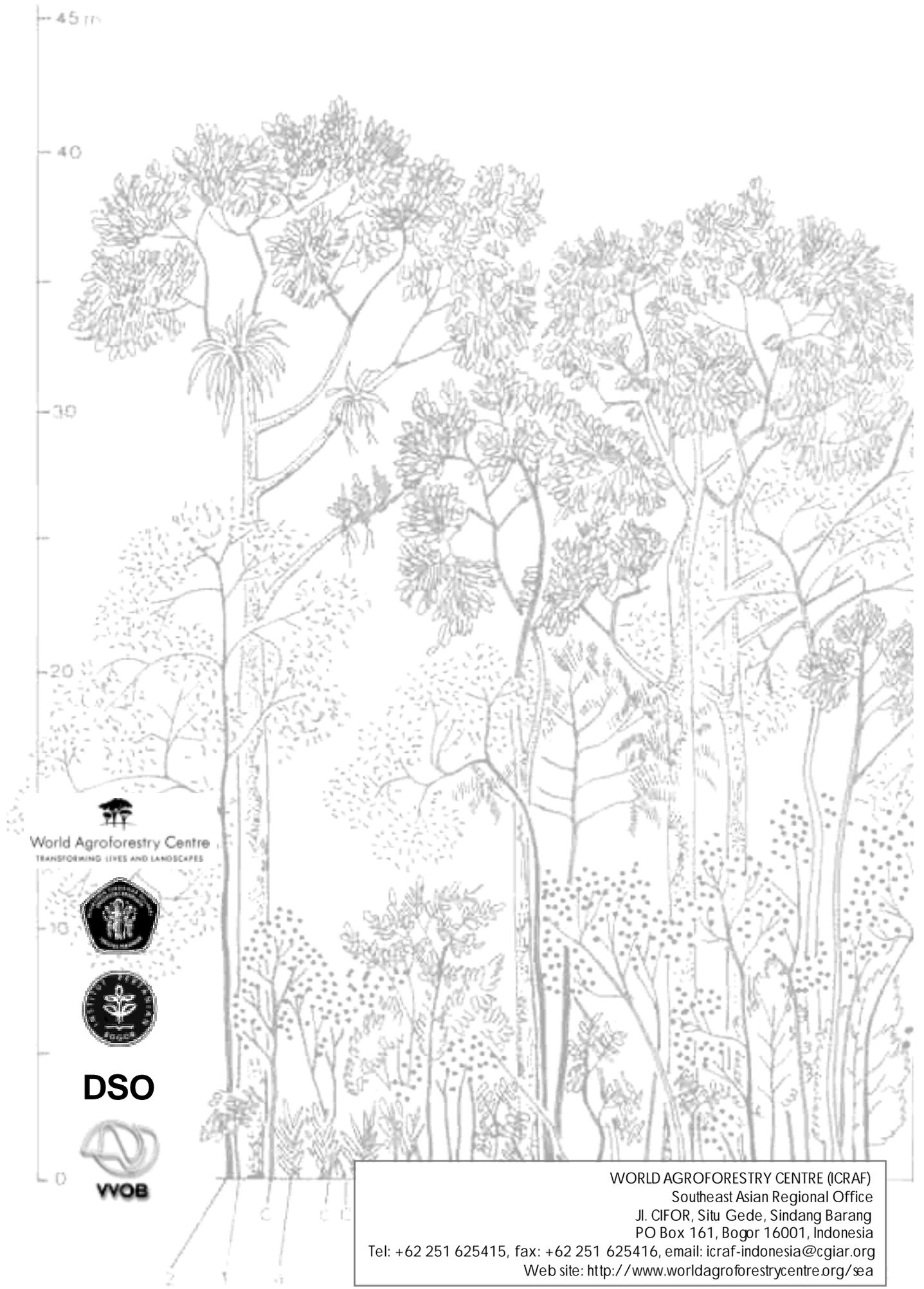
Sri Rahayu Utami
Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya,
Jl. Veteran, Malang 165145;
e-mail: srutami@telkom.net

Sunaryo
Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian,
Universitas Brawijaya, Jl. Veteran, Malang 165145
e-mail: Soen.sunaryo@telkom.net

Suyanto
ICRAF-SEA, Jl. CIFOR, Situgede, Bogor 16680;
e-mail: Suyanto@cgiar.org

Tony Djogo
CIFOR, Jl. CIFOR, Situgede, Bogor 16680;
e-mail: T.Djogo@cgiar.org

Widiyanto
Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya,
Jl. Veteran, Malang 165145;
e-mail: Wied.widiyanto@telkom.net




World Agroforestry Centre
TRANSFORMING LIVES AND LANDSCAPES



DSO



WORLD AGROFORESTRY CENTRE (ICRAF)
Southeast Asian Regional Office
Jl. CIFOR, Situ Gede, Sindang Barang
PO Box 161, Bogor 16001, Indonesia
Tel: +62 251 625415, fax: +62 251 625416, email: icraf-indonesia@cgiar.org
Web site: <http://www.worldagroforestrycentre.org/sea>