

INTERAKSI ANTARA POHON - TANAH - TANAMAN SEMUSIM: KUNCI KEBERHASILAN ATAU KEGAGALAN DALAM SISTEM AGROFORESTRI

Kurniatun Hairiah, Meine van Noordwijk dan Didik Suprayogo

TUJUAN

- Memahami interaksi (baik positif maupun negatif) antara tanaman tahunan (pohon) dengan tanaman setahun (semusim) yang ditanam pada tempat dan waktu yang sama ditinjau dari penggunaan cahaya (untuk bagian atas tanaman), air dan hara (akar).
- Mendapatkan gambaran cara pengujian dan penyempurnaan sistem agroforestri di lapangan

1. Pendahuluan

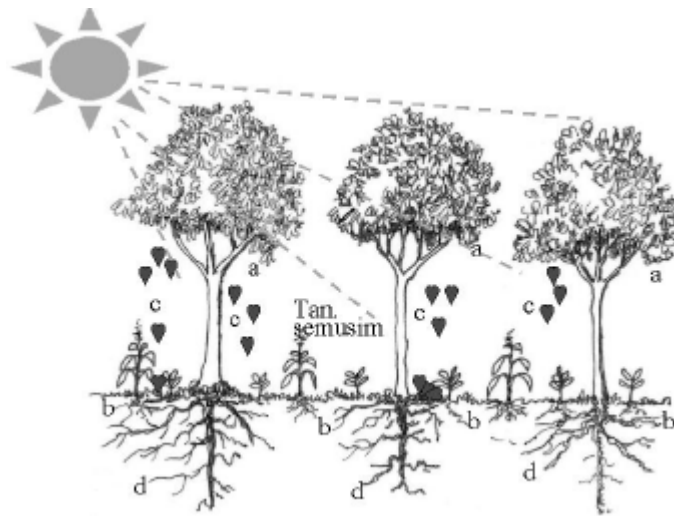
Pertanyaan 1

- Apabila dua tanaman dari satu jenis yang sama atau dari dua jenis yang berbeda, ditanam berdampingan dengan jarak yang cukup dekat, apa yang akan terjadi?

Pada sistem pertanian monokultur, jarak tanam yang terlalu dekat akan mengakibatkan **kompetisi** akan 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, pemangkasan cabang dan ranting 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 bagi tanaman kopi. Contoh lain, jenis tanaman 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.

Proses saling mempengaruhi, baik yang menguntungkan maupun yang merugikan, antar komponen penyusun sistem campuran ini (termasuk system agroforestri) sering disebut dengan 'interaksi'. Secara ringkas digambarkan secara skematis dalam Gambar 1.



Gambar 1. Interaksi antara tanaman tahunan dengan tanaman semusim pada sistem agroforestri (a = naungan; b = kompetisi akan air dan hara; c = daun gugur (seresah). Pohon berguna dalam menambah C tanah dan hara lainnya serta sebagai "jaring penyelamat" hara yang tercuci ke lapisan bawah (d = pohon berperakaran dalam).

2. Interaksi Pohon – Tanah – Tanaman Semusim

Pertanyaan 2

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

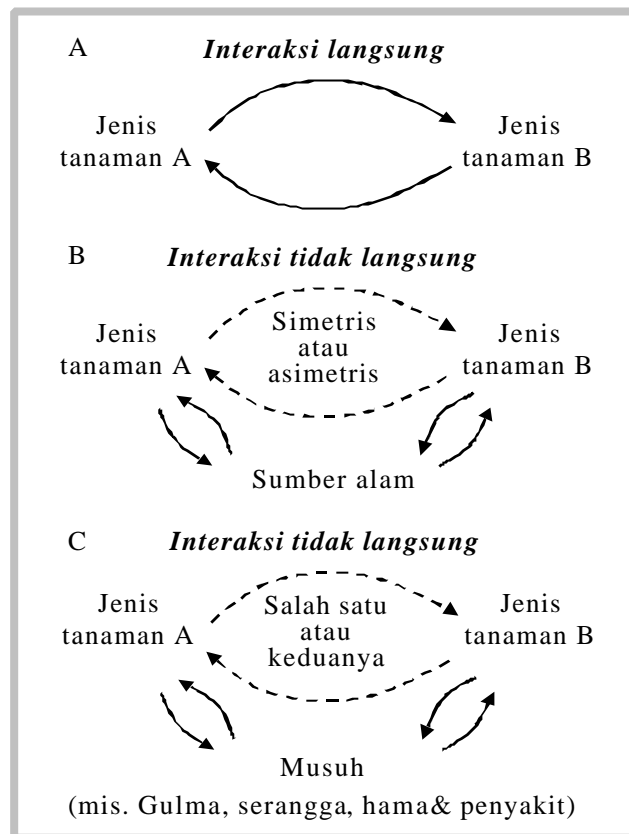
Salah satu kunci keberhasilan usaha agroforestri terletak pada usaha meningkatkan pemahaman terhadap interaksi antar tanaman (tujuan jangka pendek) dan dampaknya terhadap perubahan kesuburan tanah (tujuan jangka waktu panjang). Guna menghindari kegagalan agroforestri, ada tiga hal utama yang perlu diperhatikan yaitu: (a) proses terjadinya interaksi, (b) faktor penyebab terjadinya interaksi, dan (c) jenis-jenis interaksi.

2.1 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, tetapi hambatan secara langsung ini 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 2). Walaupun pada kenyataannya di lapangan banyak juga tanaman yang ditanam terpisah pertumbuhannya justru kurang bagus bila dibandingkan dengan yang ditanam bersama dalam satu petak yang sama (misalnya menanam pohon dadap pada kebun kopi, dadap disini selain berfungsi sebagai penambah N juga sebagai penaung).

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.



Gambar 2. Bentuk-bentuk kompetisi antar tanaman: (A) spesies A secara langsung menghambat pertumbuhan spesies B atau sebaliknya, (B) interaksi tidak langsung yaitu dengan merubah lingkungan pertumbuhan, (C) interaksi tidak langsung yaitu dengan menstimulir pertumbuhan musuh (hama+penyakit) bagi tanaman

2.2 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.

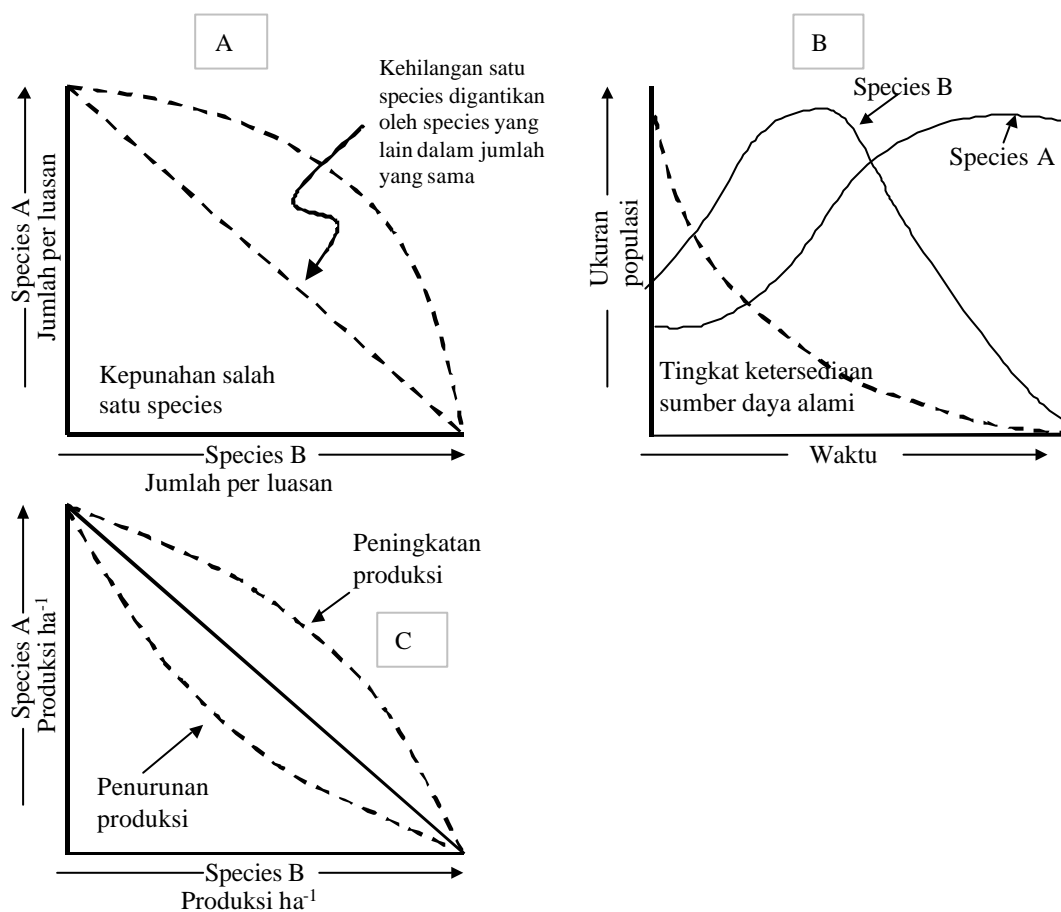
2.2.1 Populasi Maksimum

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 ke dua akan mengalami kepunahan (Gambar 3). Di dalam usaha pertanian, terutama tanaman pokok yang diharapkan tumbuh lebih baik.

2.2.2 Keterbatasan Faktor Pertumbuhan

Salah satu sarat 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 akan ketersediaan faktor pertumbuhan (air dan hara) dan pengetahuan akan kebutuhan tanaman ini sangat diperlukan dalam pelaksanaan agroforestri.



Gambar 3. (A) kemungkinan adanya 2 species tumbuh bersamaan atau salah satu mengalami kepunahan bila ada keterbatasan daya dukung lahan; (B) Salah satu species (sp B) yang mengalami kepunahan, di lain pihak species 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) dari dua jenis tanaman dalam sistem campuran (Huxley, 1999).

2.3 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 1.

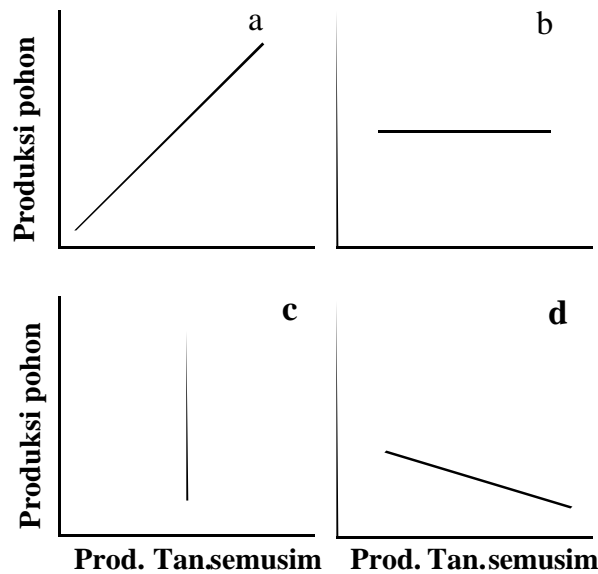
Tabel 1. Analisis interaksi antara 2 jenis tanaman A dan B (dimodifikasi dari Torquebiau, 1994). (0 = Tidak ada interaksi yang nyata; + = Menguntungkan bagi tanaman utama (pertumbuhannya, ketahanan terhadap "stress", reproduksi dsb.); - = Merugikan bagi tanaman utama)

Macam interaksi	Pengaruh interaksi terhadap tanaman:		Penjelasan	Contoh dalam Agroforestri
	A	B		
Mutualisme (<i>Mutualism</i>)	+	+	Interaksi yang saling menguntungkan	Mycorrhizae, rhizobium dengan legume
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 inter cropping</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 (<i>Neutralism</i>)	0	0	Tidak ada saling pengaruh	Pohon tumbuh berpencair
Parasit / pemangsa <i>Parasitism/ predation</i>	+	-	Satu jenis tanaman (A) harus menghambat (<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 .	Alley cropping (yang tidak dikelola dengan baik)

Dalam sistem agroforestri, interaksi **positif** dan **negatif** dalam jangka pendek terutama ditekankan pada pengaruhnya terhadap produksi tanaman semusim. Bentuk-bentuk interaksi tersebut antara lain:

Pada prinsipnya ada tiga macam interaksi di dalam sistem agroforestri (Gambar 4), yaitu:

- **Interaksi positif** (*complementarity* = saling menguntungkan): bila **peningkatan** produksi satu jenis tanaman diikuti oleh **peningkatan** produksi tanaman lainnya (Gambar 4a).
- **Interaksi netral**: bila ke dua tanaman tidak saling mempengaruhi, peningkatan produksi tanaman semusim tidak mempengaruhi produksi pohon (Gambar 4b) atau peningkatan produksi pohon tidak mempengaruhi produksi tanaman semusim (Gambar 4c).
- **Interaksi negatif** (kompetisi/persaingan = saling merugikan): bila **peningkatan** produksi satu jenis tanaman diikuti oleh **penurunan** produksi tanaman lainnya (Gambar 4d), ada kemungkinan pula terjadi penurunan produksi keduanya.



Gambar 4. Interaksi positif (a), netral (b dan c), atau negatif (d) antara komponen penyusun agroforestri (Torquebiau, 1994).

2.3.1 Interaksi Positif (*Facilitation*):

- Daun dari pepohonan yang gugur ke tanah sebagai **serasah** berguna sebagai penutup permukaan tanah (mulsa), meningkatkan penyediaan N dan hara lainnya yang berguna bagi tanaman semusim. Tingkat penyediaan N dari hasil mineralisasi serasah pepohonan tersebut sangat dipengaruhi oleh kualitasnya (lihat Bab 6: Neraca Hara). Serasah yang berkualitas rendah (konsentrasi N rendah, konsentrasi lignin dan polifenol tinggi) justru merugikan untuk jangka pendek karena adanya immobilisasi N, tetapi menguntungkan untuk jangka waktu panjang.
- Akar pepohonan membantu dalam **daur ulang hara (recycled nutrients)** melalui beberapa jalan yaitu:
 - a. Akar pohon menyerap hara di lapisan atas dengan jalan berkompetisi dengan tanaman semusim, sehingga mengurangi pencucian hara ke lapisan yang lebih dalam. Namun pada batas tertentu kompetisi ini akan merugikan tanaman semusim.
 - b. Akar pohon berperan sebagai "**jaring penyelamat hara**" yaitu menyerap hara yang tercuci ke lapisan bawah selama musim pertumbuhan. Contoh kasus 1 (Rowe *et al*, 1999; Suprayogo *et al*, 2000) dapat dijadikan pegangan untuk membuktikan teori tersebut.
 - c. Akar pohon berperan sebagai "**pemompa hara**" terutama pada tanah-tanah subur, yaitu menyerap hara hasil pelapukan mineral/batuan pada lapisan bawah. Namun hal ini masih bersifat hipotesis, dan masih perlu penelitian lebih lanjut.
 - d. Akar-akar yang telah membusuk ini akan menetralkan keracunan Al pada lapisan yang lebih dalam, sehingga akar tanaman lain dapat tumbuh mengikuti bekas lubang akar tersebut. Lihat contoh kasus 2.
- Pensuplai **Nitrogen tersedia** bagi akar tanaman semusim, baik melalui pelapukan akar yang mati selama pertumbuhan maupun melalui fiksasi N-bebas dari udara (untuk tanaman legume). Penyediaan N melalui fiksasi ini dapat dimanfaatkan langsung oleh akar tanaman semusim yang tumbuh berdekatan.

- Menekan populasi **gulma** melalui penaungan, dan pada musim kemarau mengurangi resiko **kebakaran** karena kelembaban yang lebih terjaga.
- Seringkali mengurangi **populasi hama** dan **penyakit**.
- Menjaga kestabilan **iklim mikro** (mengurangi kecepatan angin, meningkatkan kelembaban tanah dan memberikan naungan parsial (misalnya *Erythrina* pada kebun kopi).
- Mempertahankan kandungan bahan organik tanah dan memperbaiki struktur tanah, sehingga dapat mengurangi bahaya **erosi** (dalam jangka panjang).

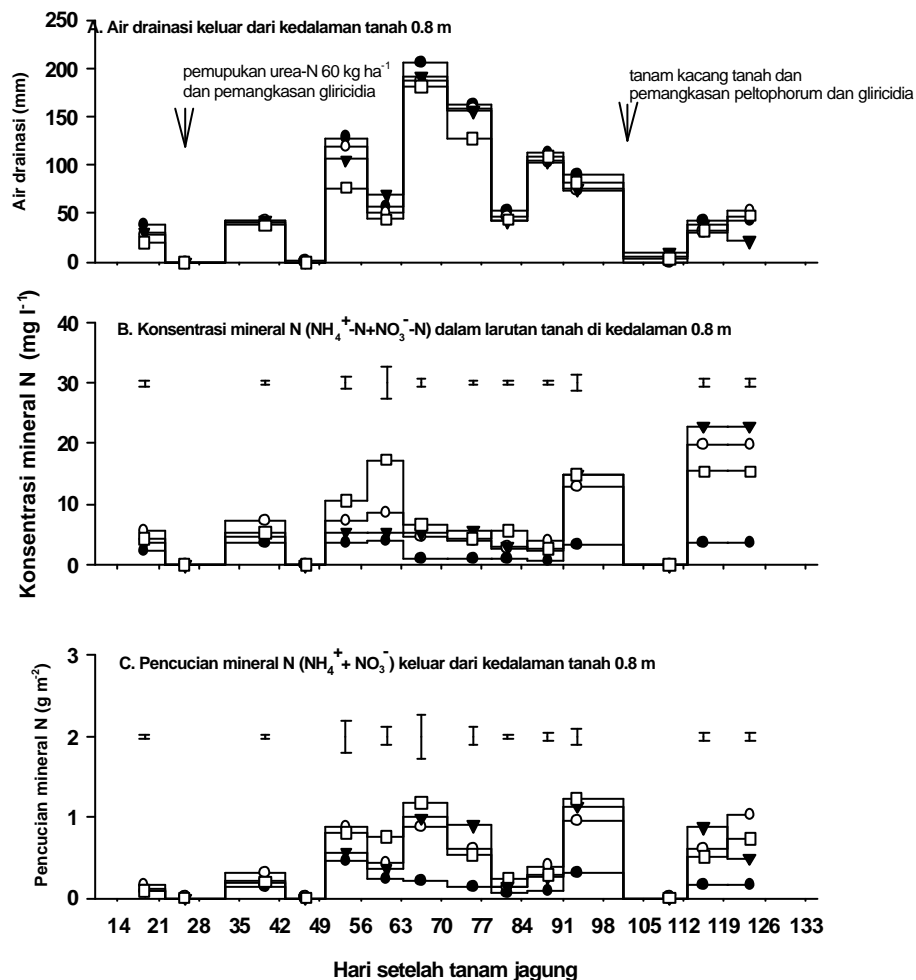
2.3.2 Interaksi Negatif (*Interference*):

- **Naungan** oleh pohon akan mengurangi intensitas cahaya yang dapat dipergunakan oleh tanaman semusim.
- **Kompetisi** antara akar pohon dengan tanaman semusim untuk menyerap air dan hara pada lapisan atas tanah,
- Pohon dan tanaman semusim dapat menjadi **inang (host)** hama dan penyakit.
- Akar-akar pohon yang sudah busuk dapat menciptakan saluran air sehingga mempercepat kehilangan unsur hara melalui aliran air ke bawah atau ke samping (*vertical and lateral flows*).

Contoh Kasus 1. Akar pohon sebagai jaring penyelamat hara

Pembuktian akar pohon sebagai jaring penyelamat hara dilakukan dengan mengukur jumlah N tercuci pada kedalaman 0.8 m dan > 0.8 m pada sistem budi daya pagar di Pakuan Ratu, Lampung. Tanaman pagar yaitu petaian (*Peltophorum*) dan gamal (*Gliricidia*) ditanam pada tahun 1985. Tanaman pagar tersebut ditanam berbaris dengan jarak tanam 4 x 0.5 m atau sebagai campuran baris petaian berselang-seling dengan gamal. Tanaman semusim yang ditanam di antara baris tanaman pagar adalah jagung (musim tanam I) dan diikuti oleh kacang tanah (musim tanam II). Jagung dipupuk N sebanyak 90 kg ha⁻¹. Jumlah N mineral (NH₄⁺ dan NO₃⁻) yang diperoleh dibandingkan dengan petak jagung monokultur, tanpa tanaman pagar (sebagai kontrol). Tinggi rendahnya konsentrasi N-mineral yang terukur menunjukkan efektifitas akar pohon dalam menyerap N yang tercuci. Semakin rendah konsentrasi N mineral yang tercuci berarti semakin efektif akar tanaman pohon dalam menyerap N yang tercuci.

Hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4. Tidak ada perbedaan jumlah air drainasi pada semua petak. Namun bila ditinjau dari konsentrasi N-mineral (NH₄⁺ dan NO₃⁻) baik pada kedalaman 0.8 m maupun > 0.8 m, ternyata konsentrasi tertinggi dijumpai pada petak kontrol. Konsentrasi terendah dijumpai pada petak petaian. Konsentrasi N-mineral pada petak gamal, campuran petaian/gamal berada diantaranya.



Gambar 5. Air yang bergerak ke bawah (air drainasi), konsentrasi N dan jumlah N yang tercuci pada kedalaman 0.8 m pada sistem budi daya pagar, (●) = petaian (○) = gamal, (▼) = campuran petaian + gamal, (?) = jagung monokultur (kontrol) dengan pemupukan N 90 kg ha⁻¹. Tanda 'bar' menunjukkan nilai 'standard error of the difference' (s.e.d.)

Contoh Kasus 2. Manfaat liang akar pohon yang telah mati bagi tanaman semusim

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 2 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.

Tabel 2. 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).

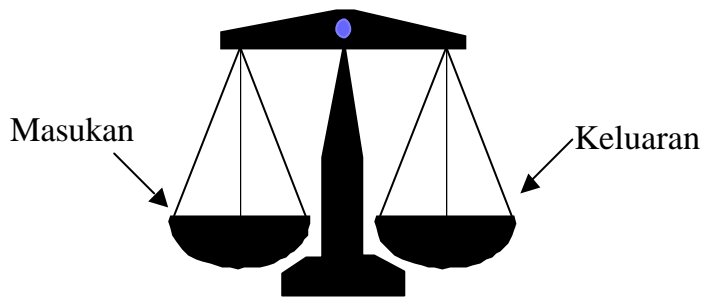
	Kedalaman (cm)			Di luar liang	Di dalam liang
	0-20	20-30	30-60		
pH _{H₂O}	3.6	3.6	3.6	3.7	3.4
pH _{KCl}	4.7	4.5	4.4	4.4	4.2

Dari data tersebut di atas dapat dilihat bahwa pH di dalam liang akar pohon relatif lebih rendah dari pada tanah di sekelilingnya atau tanah dalam profil tanah. Mengapa akar ubi kayu masih lebih suka tumbuh pada liang akar pohon tersebut? (lihat Gambar 5.). 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.

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 dari pada tanah di sekelilingnya, sehingga lebih banyak akar yang tumbuh mengikuti liang tersebut sampai ke lapisan bawah. Akar pohon mati membentuk liang dan akar ubi kayu tumbuh di dalamnya menembus lapisan bawah pada Ultisol di Onne Nigeria (Foto: Meine van Noordwijk, 1986)



3. Bagaimana Menganalisa Interaksi Pohon Dan Tanaman Semusim Secara Kuantitatif?



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:

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

di mana,

- Y_{system} = 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.

Apakah sistem agroforestri menguntungkan bila dibandingkan dengan tanaman semusim monokultur atau pohon monokultur (woodlots)?

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 melalui 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.

3.1 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 matematik 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*).

3.2 Model Penggunaan Air Hara dan Cahaya (*WaNuLCas: Water, Nutrient and 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 6.

Model ini berpijak pada program STELLA II ® dengan mempertimbangkan:

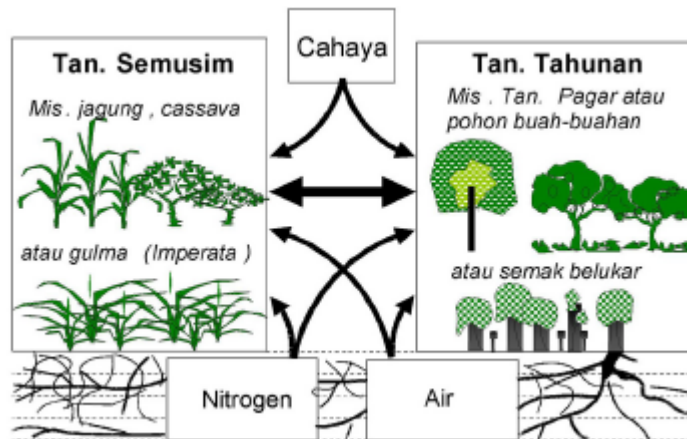
- **Neraca air** dan **N** pada empat kedalaman dari profil tanah, **serapan air** dan **hara** oleh tanaman semusim dan pohon yang ditentukan oleh **total panjang akar** dan **kebutuhan** tanaman.
- **Sistem pengelolaan tanaman** seperti pemangkasan cabang pohon, jarak pohon, pemilihan spesies yang 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.

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

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

- Selisih antara pengaruh pohon untuk jangka **pendek** (F_1) dan **panjang** (F_ω) terhadap kesuburan tanah
- Memisahkan kompetisi antara **bagian atas tanah** (C_1) dan **bagian bawah tanah** (C_{n+w}).

Gambar 7. Komponen-komponen penyusun dalam model WaNuLCAS.



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

$$\Delta_{tersimpan} = \text{Masukan} + \text{Recycle} - Upt_{\text{tan semusim}} - Upt_{\text{pohon, komp}} - Upt_{\text{pohon, nonkomp}} - \text{kehilangan}$$

Di mana,

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

Parameter $Upt_{\text{pohon, nonkompetitif}}$ 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 3.

Tabel 3. 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, runon-runoff	Pemupukan & masukan organik	Total radiasi harian
Recycle (daur ulang)	Hydraulic pada akar tanaman	Seresah, pangkasan, sisa panen	-
$Uptake_{\text{Crop}}$ (serapan)	$\Sigma_{\text{air_diserap-crop}}$	$N_{\text{fiksasi (Crop)}} + \Sigma_{\text{N_diserap-crop}}$	$\Sigma_{\text{cahaya diserap-crop}}$
$Uptake_{\text{Pohon, kompetisi}}$ (serapan)	$\Sigma_{\text{top air-diserap-pohon}}$	$\Sigma_{\text{top N_diserap-pohon}}$	$\Sigma_{\text{cahaya diserap pohon}_{1,2}}$
$Uptake_{\text{pohon, Noncomp}}$ (serapan)	$\Sigma_{\text{sub air_diserap-pohon}}$	$N_{\text{fiksasi(pohon)}} + \Sigma_{\text{sub N_diserap-pohon}}$	Cahaya diserap pohon ₃
Kehilangan	$\Sigma_{\text{Perkolasi dari Zona terendah}}$	$\Sigma_{\text{Pencucian dari 1 - zona terendah}}$	$\Sigma_{\text{cahaya yg diserap}}$
$\Delta_{\text{tersimpan}}$	$\Delta_{\text{Kandungan air}}$	$\Delta_{\text{(Nmineral \& BOT)}}$	-

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 = $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$, BOT = Bahan Organik Tanah)

Pertanyaan 3

- 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 ?

3.3 Bagaimana Caranya 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 4 (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 4. Proses analisa dan sintesa interaksi pohon-tanah-tanaman dalam agroforestri.

$Y_c =$ Produksi total tanaman pada sistem tumpang Sari	$Y_0 +$ Produksi tanaman pada sistem monokultur	$F_1 +$ Pengaruh langsung terhadap Kesuburan	$F_\infty +$ Pengaruh jangka panjang terhadap kesuburan tanah	$C_i +$ Kompetisi akan cahaya	$C_{w+n} +$ Kompetisi akan air dan hara	M Pengaruh iklim Micro
1. Metodologi percobaan		Transfer bahan organik sbg mulsa	Efek residu (pohon ditebang dibandingkan dng kontrol)	pohon ditebang dibanding kan dengan kontrol	Pemasangan sekat akar (<i>root barriers</i>)	
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 matematik 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. Bagaimana Merancang Percobaan di Lapangan untuk Memisahkan Pengaruh Positif dan Negatif Pohon?

Rancangan yang diperlukan untuk mengukur interaksi pohon-tanah-tanaman di lapangan perlu ditata secara seksama, sebagai contoh lihat contoh kasus 3 di bawah ini.

Contoh kasus 3. Interaksi pohon dan tanaman pangan pada sistim budidaya pagar (*hedgerow intercropping system*)

Berikut adalah contoh bagaimana mengevaluasi interaksi pohon dan tanaman pangan secara kuantitatif (seperti tercantum pada Tabel 4) pada sistim budi daya pagar berumur 7 tahun di Lampung. Tanaman jagung dipakai sebagai tanaman indikator, yang ditanam pada lorong-lorong diantara 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:

Parameter	Perlakuan
Naungan	1. Dengan Pemangkasan Tajuk 2. Tanpa Pemangkasan Tajuk
Kompetisi Air dan Hara	1. Dengan Penyekat Akar 2. Tanpa Penyekat Akar
Mulsa	1. Dengan Penambahan Biomas sbg mulsa 2. Tanpa Penambahan Biomas
Pengaruh Residu Tanaman (pengaruh jangka panjang)	1. Dengan Penebangan Pohon/Tanaman Pagar 2. Tanpa Penebangan Pohon/Tanaman Pagar
Total Plot	Ada 8 sub plot per species pohon

Contoh kasus 3. (Lanjutan)

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 diangkut 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 8A). 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 ke dua 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 dari pada kontrol. Perbedaan terbesar dikarenakan kecilnya pengaruh naungan, pengaruh pemberian mulsa dan interaksi bawah tanah (Gambar 8B).

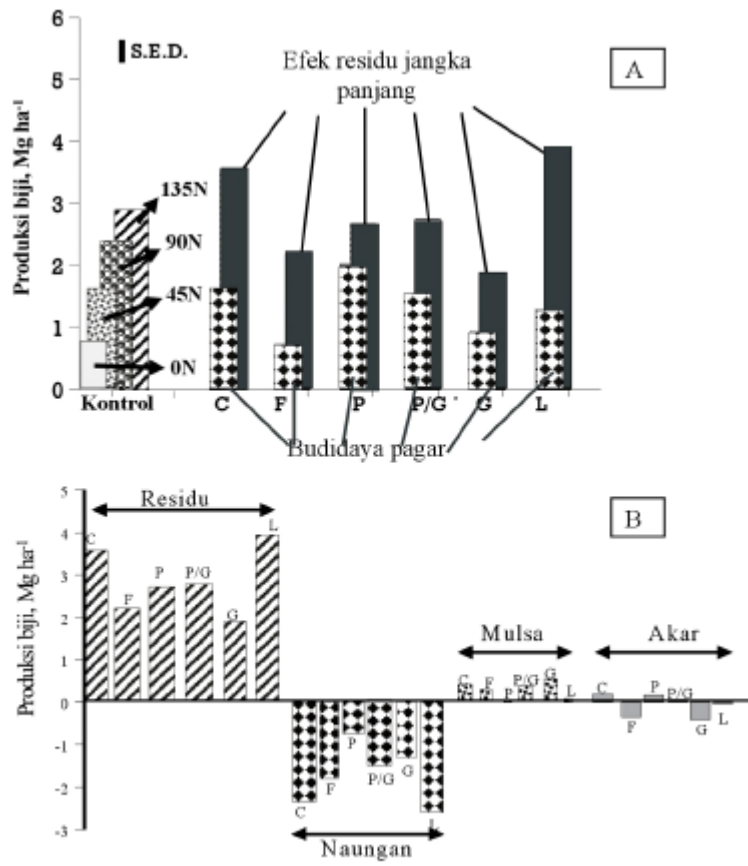
Pada musim tanam ke dua (bl Februari – Mei), produksi tanaman rendah pada semua perlakuan, karena kondisi yang lebih kering daripada tahun-tahun sebelumnya (Gambar 9). Pada kondisi ini, jagung menunjukkan respon yang negatif terhadap pemupukan N (produksi terendah diperoleh pada tingkat pemupukan N tertinggi), 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 5 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 dari pada pengaruh negatifnya. Spesies ini memiliki daya kompetisi lebih rendah dari pada spesies lainnya dikarenakan: *sistim perakarannya yang dalam* dan memiliki *sebaran kanopi yang lebih terpusat di dekat batang* pokoknya, sehingga memberikan nisbah mulsa: naungan yang lebih tinggi.

Tabel 5. Analisis interaksi pohon dan tanaman pangan berdasarkan pengaruhnya terhadap kesuburan tanah (F) dan kompetisi (C) terhadap produksi jagung.

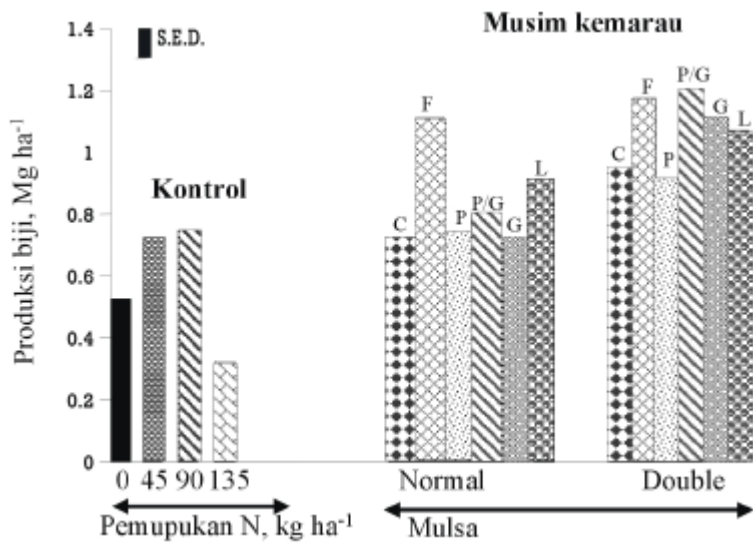
Spesies	Pengaruh kesuburan, %	Pengaruh kompetisi, (%)	Interaksi, %
<i>Leucaena</i>	152	-159	-7
<i>Calliandra</i>	120	-115	+5
<i>Peltophorum</i>	58	-26	+32
<i>Flemingia</i>	37	-89	-52
<i>Gliricidia</i>	19	-60	-41

Contoh kasus 3. (Lanjutan)



C = *Calliandra*; F = *Flemingia*; P = *Peltophorum*; G = *Gliricidia*; L = *Leucaena*

Gambar 8. 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).



Gambar 9. Pengaruh pemberian mulsa pada musim kemarau terhadap produksi biji jagung. (C = *Calliandra*, F = *Flemingia*, P = *Peltophorum*, G = *Gliricidia*, L = *Leucaena*)

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

Dalam sub-bab sebelumnya, telah diuraikan berbagai macam interaksi positif (yang menguntungkan) dan yang negatif (merugikan). Dalam studi kasus 3 juga ditunjukkan bahwa jagung menghasilkan produksi yang terbesar jika dikombinasikan dengan *Pelthophorum*, 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 ini sangat tergantung dari pengelolaan pohon yang dapat menekan pengaruh yang merugikan dan memaksimalkan pengaruh yang menguntungkan (dengan kebutuhan tenaga kerja yang masih dapat diterima).

5.1 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 dikaji seberapa besar aspek-aspek tersebut dapat dipengaruhi oleh adanya pengelolaan tajuk tanaman, pengelolaan itu antara lain meliputi:

Mengatur tajuk pohon

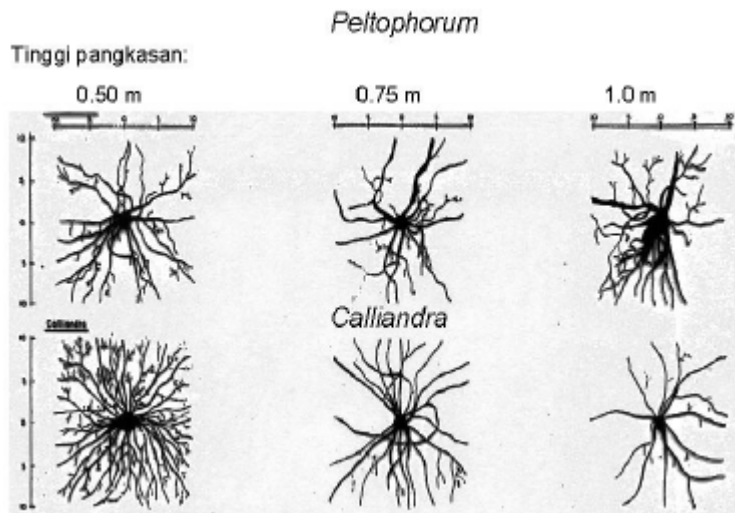
Tinggi tanaman semusim biasanya lebih rendah dari pada pohon. Hal ini menyebabkan pohon dapat menciptakan naungan, sehingga menurunkan jumlah cahaya yang dapat dipergunakan tanaman semusim untuk pertumbuhannya. Untuk mengurangi pengaruh merugikan pohon terhadap tanaman semusim tersebut, petani biasanya 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. 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. Contoh kasus yang terjadi di lapangan dapat dilihat pada contoh kasus 4.

Contoh kasus 4. 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 8 dan 9). Hasil yang sama akan diperoleh bila tajuk sering dipangkas.



Gambar 10. Sebaran akar *Peltophorum* dan *Calliandra* pada kedalaman 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)

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

Gambar 11. Foto akar petaian (*Peltophorum*) yang dipangkas setinggi 50 cm (pohon sebelah kiri); dan 75 cm (pohon sebelah kanan) (Foto: Kurniatun Hairiah).



Cara menanam pohon di lapangan juga menentukan kedalaman 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 contoh kasus 5.

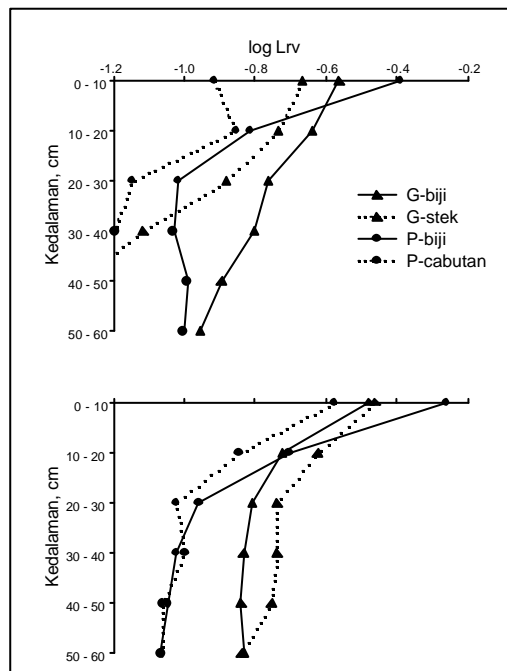
Contoh kasus 5. Teknik penanaman pohon yang tepat untuk mendapatkan perkembangan akar yang dalam.

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.

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 dari pada dari cabutan atau stek (Gambar 10, atas). Namun pada periode pengamatan berikutnya, perbedaan tersebut secara bertahap mengecil. Pada periode ke tiga, tidak dijumpai lagi adanya perbedaan total panjang akar dari ke dua 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 tanah. Dengan demikian mengurangi tenaga kerja untuk penyiangan. Jadi kedua teknik penanaman sama-sama memiliki keuntungan dan kerugian. Petani dapat mencoba sendiri berbagai teknik penanaman yang lain pada berbagai pohon yang diinginkan, dengan mengamati pertumbuhan pohon di atas dan di bawah tanah.

Gambar 12. Total panjang akar (Lrv) petaian dan gamal pada berbagai kedalaman tanah dengan perlakuan teknik penanaman



5.2 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. Lampiran 1 memberikan informasi tentang jenis-jenis tanaman yang sesuai pada berbagai zone agroekosistem di Jawa.

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.

6. Penutup

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, Duguma B, Heineman AM, Kamara CS, Kiepe P, Kwesiga F, Ong CK, Otieno HJ and Rao MR, 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, Hairiah K, Lusiana B and Cadisch G, 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.

Journal ilmiah

- Rowe E, Hairiah K, Giller KE, Van Noordwijk M and Cadisch G, 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, Hairiah K, Van Noordwijk M, Giller K and Cadisch G, 1999. The effectiveness of hedgerow cropping system in reducing mineral N-leaching in Ultisol. *In: Ginting C, Gafur A, Susilo FX, Salam AK, Karyanto A, Utomo SD, Kamal M, Lumbanraja J and Abidin Z (eds.) Proc. Int. Seminar Toward Sustainable Agriculture in the Humid Tropics Facing 21st Century UNILA, Lampung*. p. 96 - 106.

Textbook

- Ong CK and Huxley P, 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, Widiyanto, Utami SR, Suprayogo D, Sunaryo, Sitompul SM, Lusiana B, Mulia R, van Noordwijk M dan Cadisch G, 2000. *Pengelolaan Tanah Masam Secara Biologi: Refleksi Pengalaman dari Lampung Utara*. ICRAF SE Asia, Bogor, 182 p.

Booklet

- Hairiah K, Utami SR, Suprayogo D, Widiyanto, Sitompul SM, Sunaryo, Lusiana B, Mulia R, van Noordwijk M dan Cadisch G, 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 dan Lusiana B, 2000. WaNuLCAS version 2.0. Background on a model of water nutrient and light capture systems. International Centre for Reserach in Agroforestry (ICRAF), Bogor, Indonesia.

Van Noordwijk M and Lusiana B, 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 Hairiah K, 1999. Tree-soil-crop interactions. Agroforestry lecture notes. ICRAF SE. Asia, Bogor.

Web site

<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 Agroforestry dalam Perhutanan Sosial).

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