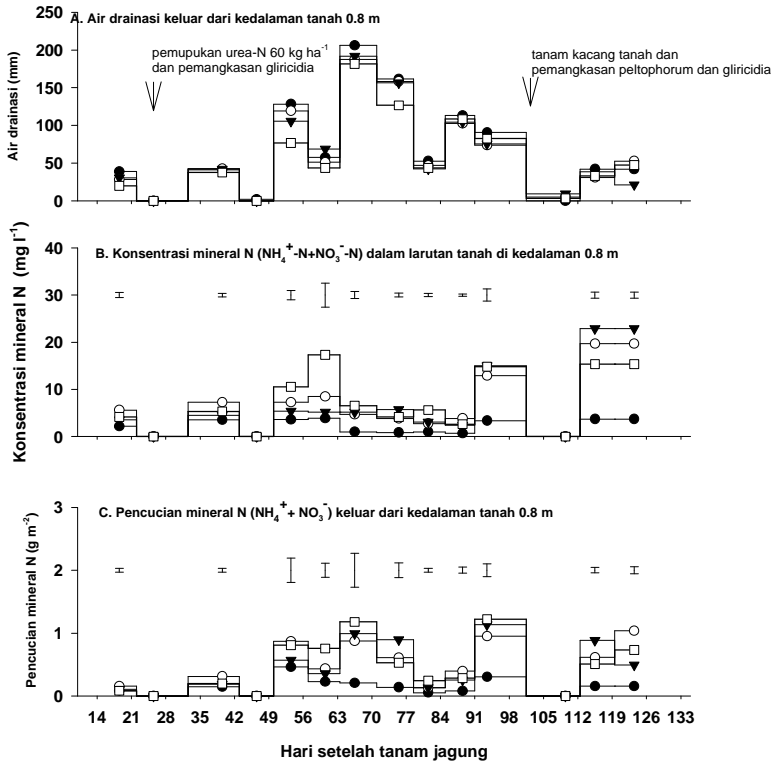


Studi kasus (lanjutan)



Gambar 4. 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.) (Suprayogo *et al.*, 2000)

Informasi tentang bentuk sebaran tajuk dan kedalaman perakaran dari beberapa jenis pohon yang mungkin berguna bagi petani disajikan pada Tabel 1. Sedangkan evaluasi beberapa pohon yang berpotensi untuk digunakan dalam tumpangsari pohon dengan tanaman semusim berdasarkan kriteria yang telah disebutkan di atas dicantumkan dalam Tabel 2.

Tabel 1. Kedalaman perakaran dan sebaran tajuk beberapa pohon

Nama tanaman	Kedalaman perakaran	Sebaran tajuk
Lamtoro	Dangkal	Menyebarkan, perlu 3-5 pangkasan per tahun
Kaliandra	Sedang	Menyebarkan, perlu 3-5 pangkasan per tahun
Gamal	Dangkal	Menyebarkan, perlu 3-5 pangkasan per tahun
Dadap	Sedang	Menyebarkan, perlu 3-5 pangkasan per tahun, tapi kurang tahan terhadap pangkasan
Petaian	Dalam	Terpusat di tengah, pangkasan maksimal 3x per tahun
Sungkai	Sangat dangkal	Sempit
Jengkol	Dangkal	Sedang
Petai	Dangkal	Menyebarkan
Sengon	Dangkal	Menyebarkan
Jambu air	Dangkal	Sedang
Belinjo	Dangkal	Sempit
Kapuk	Dalam	Menyebarkan
Jambu mede	Dalam	Sedang
Nangka	Sangat dalam	Sedang
Mangga	Sangat dalam	Sedang
Durian	Sangat dalam	Sedang

Tabel 2. Evaluasi kesesuaian pohon untuk ditumpangsarikan dengan tanaman semusim (Hairiah *et al.*, 1992)

Jenis	Di dalam tanah				Di atas tanah							
	Kedalaman akar	Akar di lap. atas	Nodulasi	mikoriza	Prod. seresah, ton/ha	Masukan N, kg/ha	Kecepatan lapuk	Keperluan pangkas	Kendali alang-alang	Kualitas Kayu bakar	Kuantitas Kayu bakar	Kualitas Pakan
Lamtoro	1	2	0/+	?	8	190	C	Ya	0	+	+	+
Gamal	1	3	+	+	8	230	SC	Ya	0	+	+	+
Johar	2	2	0	+	8	-	C	Ya	+	+	+	?
Kaliandra	1	3	+	+	12	360	M	Ya	+	-	+++	+
Dadap	2	1	+	+	4	110	C	Tdk	-	+	+	?
Sengon	1	3	+	+	*	*	M	*	-	+	+	?
Sungkai	1	2	0	?	*	*	SL	*	?	+	?	?
Petaian	1/2	1	0	+	8	170	L	tdk	+	+	+	+

Keterangan:

- kedalaman akar, jika tajuk teratur dipangkas; 1: terutama pada lapisan atas (0-20 cm); 2: beberapa akar ada di lapisan bawah (20-60 cm); 3: relatif dalam (60 cm),
- Akar di lapisan atas, diantara tanaman pangan; 1 : sedikit; 2 : banyak; 3 : sangat banyak,
- Nodulasi = banyaknya bintil akar; 0 : tidak ada; +: sedikit; ++: banyak,
- Mikoriza = banyaknya infeksi mikoriza pada akar; +: 5-15%; ++: 25%,
- Prod. seresah = produksi seresah, ton ha⁻¹ th⁻¹ (berupa daun dan cabang kecil), jika tajuk teratur dipangkas dengan jarak tanam antar baris pohon 4m
- Masukan N (kg ha⁻¹) dari hasil pangkasan, * tidak ada data
- Kecepatan lapuk, diperkirakan hanya dari seresah di permukaan tanah; **SL**: sangat lambat; **L**: lambat; **M**: sedang; **C**: cepat; **SC**: sangat cepat
- Keperluan pangkas= pemangkasan kedua yang diperlukan untuk mengurangi efek naungan selama masa tanam tanaman semusim; **ya**: perlu; **tdk**: tidak perlu
- Kendali alang-alang= kemampuan mengendalikan alang-alang, jika tidak dipangkas selama 8 bulan. 0 = sedang, + = mampu dan - = tidak mampu
- Kualitas kayu bakar= kualitas berdasarkan kecepatan/kemudahan terbakar menurut pengalaman petani; + = mudah, +++ = sangat mudah. Kaliandra mudah terbakar, tidak sesuai untuk kayu bakar
- Kuantitas kayu bakar, jika tidak dipangkas selama 8 bulan. + = sedang dan +++ = banyak sekali
- Kualitas untuk pakan ternak menurut pengalaman petani, terutama untuk kambing; 0: tidak dimakan; +: hanya daun muda yang dimakan; ++: semua daun muda dan tua dapat dimakan.

WANuLCAS (Model Penggunaan Air, Hara dan Cahaya pada sistem Agroforestri)

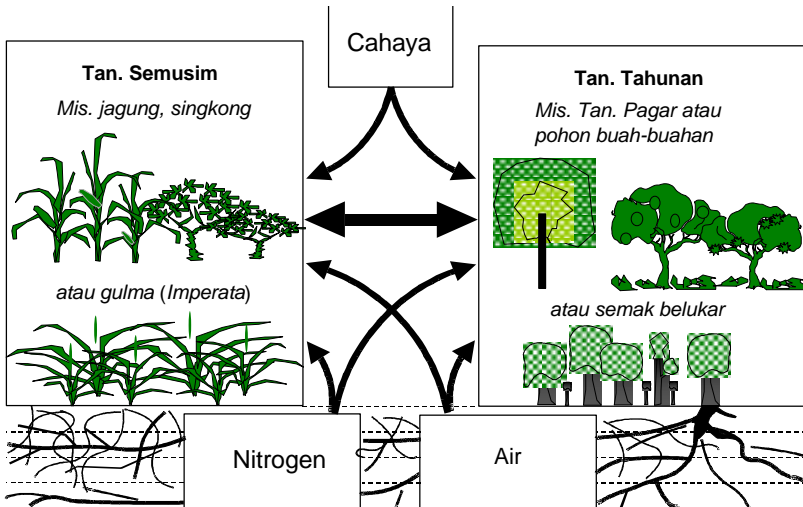
-- **Dapatkah kita memperkirakan keseimbangan antara interaksi yang menguntungkan dan yang merugikan?**

Apa yang telah diuraikan sebelumnya menunjukkan bahwa memilih pohon yang tepat untuk ditumpang-sarikan dengan tanaman semusim sangatlah tergantung pada kondisi tempat yang spesifik. Pemahaman dan pengkajian proses-proses interaksi yang terjadi antara tanaman pangan dengan pepohonan mutlak diperlukan untuk menjamin keberhasilan suatu praktek agroforestri. Namun, pengkajian proses interaksi tersebut membutuhkan biaya banyak dan waktu yang lama, sedangkan hasilnya seringkali tidak relevan dengan pilihan dan penerapan pengelolaan, karena kondisi keragaman lapangan. Untuk menjembatani kedua hal ini, diperlukan tindakan efisien dan ekonomis untuk merumuskan diagnosa permasalahan dalam agroforestri. Oleh karena itu, timbullah upaya untuk mengembangkan model agroforestri yang mampu memperhitungkan pengaruh kondisi lokasi yang beragam dan menghasilkan keluaran yang mendekati kenyataan. Bila hal ini bisa diperoleh, maka pendekatan dengan simulasi model dapat menekan waktu dan biaya, karena dapat mengurangi percobaan dan pengujian lapangan.

Karena sistem agroforestri sangatlah kompleks, model simulasi perlu mempertimbangkan berbagai proses. Akan diberikan contoh penggunaan model **WaNuLCAS** (**Water, Nutrient, and Light Captured in Agroforestry Systems**). Diagram model WaNuLCAS ini disusun sedemikian rupa sehingga dapat menggambarkan 3 komponen yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman, yaitu air, hara, dan cahaya, yang sangat penting dalam sistem agroforestri (Gambar 5). Model ini berpijak pada perangkat lunak program **STELLA**. Beberapa teori yang sudah diterima oleh para peneliti dan akademisi dimasukkan dalam model WaNuLCAS, diantaranya adalah:

- **Neraca air** dan **N** pada empat kedalaman dari profil tanah, **serapan air** dan **hara** oleh tanaman semusim dan pohon yang didasarkan pada **total panjang akar** dan **kebutuhan** tanaman.
- **Sistem pengelolaan tanaman** seperti pemangkasan cabang pohon, populasi 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 5. Komponen-komponen penyusun dalam model WaNuLCAS

Model simulasi ini diharapkan dapat membantu para praktisi agroforestri untuk memahami, menganalisis dan merumuskan berbagai permasalahan agroforestri di lapangan dalam bentuk diagnosa-diagnosa yang akan digunakan sebagai dasar pengujian teknologi di lapangan.

-- Contoh simulasi WaNuLCAS sebagai alat diagnosa

Model WaNuLCAS dikembangkan terutama untuk mempelajari prinsip-prinsip dasar yang umum terjadi pada aneka sistem tumpangsari pepohonan dengan tanaman semusim atau sistem agroforestri (Van Noordwijk dan Lusiana, 2000). Dalam contoh berikut, simulation dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh interaksi pohon dan tanaman pangan dalam sistem budidaya pagar atau budidaya lorong (Foto 18) terhadap peningkatan produktivitas, perbaikan kesuburan tanah, kesetimbangan hara dan air.

Contoh simulasi ini dilakukan pada Ultisols di Karta, Pakuan Ratu. Data kesuburan tanah dan iklim yang digunakan diperoleh dari proyek BMSF

(4° 30'S, 104°98'E). Tanah ini diklasifikasikan sebagai *Grossarenic Kandiodult* (Van der Heide *et al.*, 1992), yang dicirikan oleh nilai KTK yang rendah, miskin hara dan bahan organik, pH rendah, tekstur agak berpasir tetapi liat meningkat di lapisan bawah, kejenuhan Al yang tinggi di lapisan bawah. Data iklim yang digunakan adalah data yang diperoleh pada musim tanam September 1997- September 1998. Lokasi ini termasuk daerah tropik basah, masalah pencucian hara dan penurunan kandungan bahan organik merupakan hal yang umum terjadi di lahan pertanian di daerah ini.

Salah satu teknik alternatif pengelolaan tanah di daerah ini adalah sistem tumpangsari pepohonan yang berperakaran dalam dengan tanaman semusim yang umumnya berperakaran lebih dangkal. Pepohonan ditanam berbaris, dan lorong antar baris pohon ditanami tanaman semusim (jagung). Tanaman pagar yang ditanam adalah petaian dengan jarak tanam 4 x 0.5 m. Untuk menguji manfaat penyisipan pepohonan diantara tanaman jagung, budidaya pagar ini perlu dibandingkan dengan pola tanam monokultur. Pada kedua pola tanam ini, diperlakukan dengan dan tanpa pemupukan N. Pupuk N sebanyak 30 kg ha⁻¹ diberikan pada saat jagung berumur 7 hari, dan 60 kg ha⁻¹ diberikan pada saat jagung berumur satu bulan. Simulasi dilakukan selama 9 tahun pada kedalaman tanah 0.8 m. Skenario pola tanam yang diuji dapat diringkaskan dalam Tabel 3:

Tabel 3. Evaluasi kesesuaian pohon untuk ditumpangsarikan dengan tanaman semusim (Hairiah *et al.*, 1992)

	Pola Tanam	Keterangan
1	<i>Monokultur jagung - jagung</i>	Tanpa pemupukan
2	<i>Monokultur jagung - jagung</i>	Dipupuk N dosis 90 kg ha ⁻¹ pada setiap musim tanam jagung
3	Budi daya pagar : Petaian + Jagung - jagung	Tanpa pemupukan
4	Budi daya pagar : Petaian + Jagung - jagung	Dipupuk N dosis 90 kg ha ⁻¹ pada setiap musim tanam jagung

Keterangan: (+) Tumpang sari; (-) diikuti.

Pada musim tanam pertama (MT1) jagung ditanam pada tanggal 14-12-97, dan pada musim tanam kedua (MT2) ditanam pada tanggal 27-03-1998.

-- Keluaran simulasi:

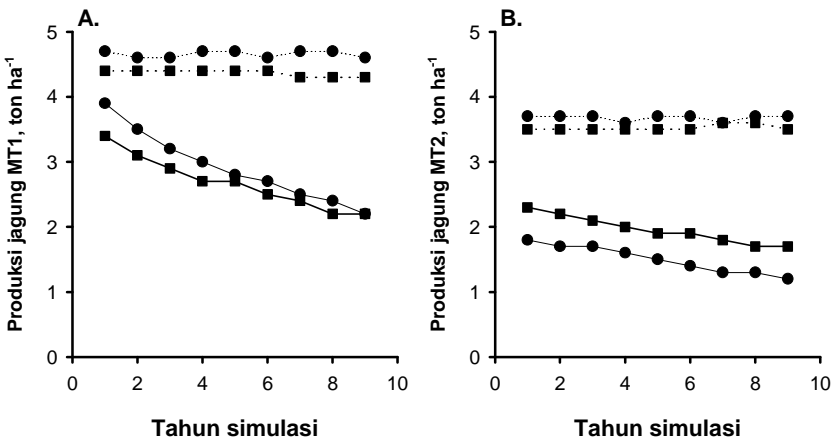
Pendugaan produksi jagung

Selama ini petani sering menyamaratakan semua pohon adalah pesaing tanaman pangan akan air dan hara. Pohon dianggap lebih kuat menyerap hara dan air, sehingga penyisipan pohon diantara tanaman pangan dapat menurunkan produksi tanaman pangan tersebut (Foto 18).

Hasil simulasi menunjukkan bahwa produksi jagung akan menurun baik pada MT1 maupun MT2, jika tidak diberi pupuk N (Gambar 6A dan B, dua garis di bagian bawah). Sistem budidaya pagar akan sedikit memperlambat penurunan produksi, walaupun produksi tetap turun pada MT1 (Gambar 6A), dan mempunyai pengaruh positif pada MT2 (Gambar 6B). Penambahan



Foto 18. Tumpangsari petaian dan jagung pada sistem budidaya pagar. (Foto: Meine van Noordwijk)



Gambar 6. Pengaruh pemupukan N terhadap produksi jagung pada MT1(A) dan pada MT2 (B), dengan (?) sistem monokultur dan (•) sistem budidaya pagar; perlakuan (□) tanpa dan (...) dengan pemupukan 90 kg N ha⁻¹

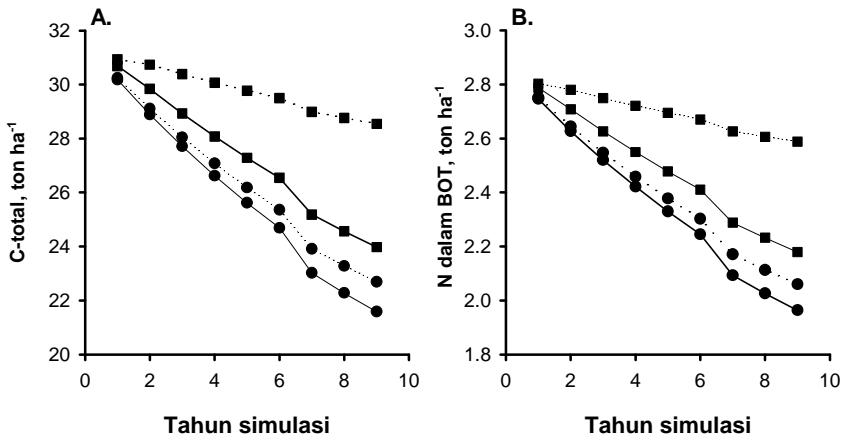
pupuk setara 90 kg N per ha dapat mempertahankan produksi (Gambar 6A dan B, dua garis di bagian atas), tetapi bila tidak adan faktor pembatas N (pada MT1), pengaruh sistem budidaya pagar bersifat merugikan.

Pendugaan neraca karbon (C)



Foto 19: Penambahan bahan organik secara terus menerus ke dalam tanah penting dilakukan untuk mempertahankan kandungan bahan organik tanah. (Foto: Kurniatun Hairiah)

Penambahan bahan organik secara terus menerus dapat mempertahankan kandungan bahan organik dalam tanah: lebih banyak bahan organik yang ditambahkan, lebih 'dingin' tanah tersebut (Foto 19). Hasil simulasi menunjukkan bahwa terjadi penurunan bahan organik tanah (C dan N tanah, Gambar 7A dan B) dari tahun ke tahun. Sistem budidaya pagar

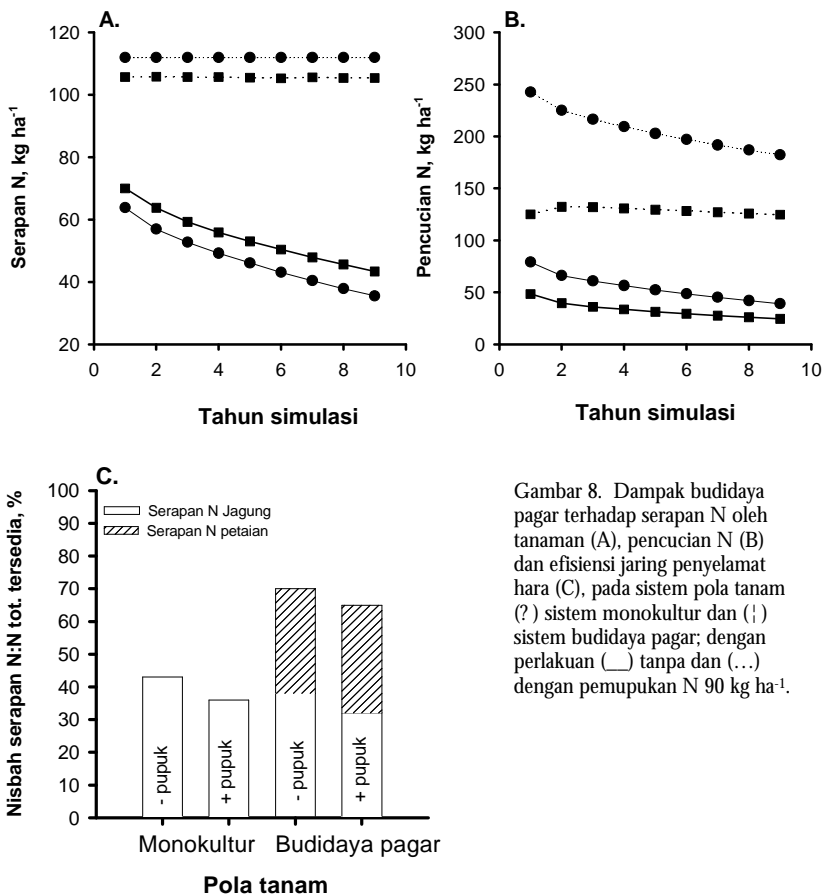


Gambar 7. Trend kandungan C-total (A) dan N-organik (B) dalam tanah pada sistem pola tanam (?) sistem monokultur dan (○) sistem budidaya pagar; perlakuan (—) tanpa dan (⋯) dengan pemupukan N 90 kg ha⁻¹.

dapat memperlambat dan memperkecil penurunan tersebut, terutama jika dikombinasikan dengan pemupukan N. Namun, sistem ini tetap tidak dapat mempertahankan kandungan bahan organik kembali ke kondisi seperti hutan.

Pendugaan neraca N

Bila tidak ada usaha pemupukan, serapan N tanaman jagung pada sistem budidaya pagar lebih tinggi dari pada sistem monokultur. Namun bila ada usaha pemupukan, jagung menyerap unsur N lebih banyak pada sistem monokultur dibandingkan pada sistem budidaya pagar (Gambar 8A). Kesimpulan yang menarik dari contoh ini adalah pemupukan N pada sistem budidaya pagar justru merugikan tanaman jagung.



Gambar 8. Dampak budidaya pagar terhadap serapan N oleh tanaman (A), pencucian N (B) dan efisiensi jaring penyelamat hara (C), pada sistem pola tanam (?) sistem monokultur dan (|) sistem budidaya pagar; dengan perlakuan (—) tanpa dan (...) dengan pemupukan N 90 kg ha⁻¹.

Pencucian N terbesar terjadi pada sistem monokultur dengan usaha pemupukan (Gambar 8B). Sistem budidaya pagar mampu menurunkan pencucian N sebesar 40% dari jumlah N tercuci pada sistem monokultur, baik dengan maupun tanpa pemupukan N. Pengaruh seperti inilah yang dinamakan 'fungsi jaring penyelamat hara', seperti yang didiskusikan sebelumnya.

Jika kita membandingkan jumlah N yang dapat diserap tanaman dengan jumlah N yang tersedia selama musim tanam (Gambar 8C), maka dapat dilihat bahwa pada sistem monokultur jagung hanya dapat menyerap sekitar 43 % N tersedia jika tanpa pemupukan, dan 36% saja jika diberi pupuk N.

Pada sistem budidaya pagar, jagung dapat menyerap sekitar 38% N tersedia jika tanpa pemupukan, dan sekitar 32% jika diberi pupuk N. Tanaman pagar menyerap 33% N tersedia, baik dengan maupun tanpa pemupukan. Dengan demikian, jumlah total yang dapat diserap tanaman meningkat dari 36% (dengan pupuk) dan 43% (tanpa pupuk) pada sistem monokultur menjadi 65% (dengan pupuk) dan 70% (tanpa pupuk) pada sistem budidaya pagar. Kehilangan unsur hara N melalui pencucian yang dapat diturunkan dengan sistem budidaya pagar adalah 30-57% jika tanpa pemupukan, dan 35-64% jika diberi pupuk. Hasil pendugaan ini sesuai dengan data yang didapatkan dari lapang (Box 1).

Pendugaan neraca air: limpasan permukaan dan drainasi

Ada dua aspek yang memberikan kontribusi nyata dalam menentukan tingkat kehilangan unsur hara pada suatu sistem pertanian, yaitu:

- Limpasan permukaan. Air hujan yang tidak dapat meresap ke dalam tanah mengakibatkan limpasan permukaan, yang mendorong terjadinya erosi dan pencucian hara.
- Drainase. Air yang meresap ke dalam tanah, dalam pergerakannya di dalam tanah dapat membawa serta unsur hara yang dibutuhkan tanaman.

Dari hasil simulasi WaNuLCAS menunjukkan bahwa limpasan permukaan pada sistem budidaya pagar (petaian) lebih rendah daripada sistem monokultur (Gambar 9A). Menurunnya limpasan permukaan pada sistem budidaya pagar mengakibatkan jumlah air yang masuk ke dalam tanah (air infiltrasi) semakin meningkat, sehingga jumlah yang dapat diserap petaian semakin meningkat. Hal ini mengakibatkan air drainasi