



PENGELOLAAN TANAH MASAM SECARA BIOLOGI



Refleksi pengalaman
dari Lampung Utara



Pengelolaan Tanah Masam
Secara Biologi
Refleksi Pengalaman dari Lampung Utara

Kurniatun Hairiah, Widiyanto, Sri Rahayu Utami, Didik Suprayogo,
Sunaryo, SM Sitompul, Betha Lusiana, Rachmat Mulia,
Meine van Noordwijk dan Georg Cadisch

Bogor, Indonesia
Desember 2000

Buku ini dapat diterbitkan berkat bantuan finansial dari
Departement For International Development (DFID), UK,
tetapi isi di luar tanggung jawab DFID.

Alamat yang dapat dihubungi

Dr. Kurniatun Hairiah
d/a Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya
Jl. Veteran, Malang 65145
Indonesia
Telp. +62 341 564355 atau 553623; fax: 341 564333
Email: Soilub@malang.wasantara.net.id

Dr. Meine van Noordwijk
ICRAF SE Asia
Jl Situ Gede, Sindang Barang,
PO Box 161, Bogor 16001
Indonesia
Telp. +62 251 625415; fax: 62 251 625416
Email: M.van-Noordwijk@cgiar.org

Dr. Georg Cadisch/ Prof. Dr. Ken Giller
Dept. of Biology, Imperial College at Wye, University of London
Wye, Ashford, Kent TN25 5 AH, United Kingdom
Fax. 001 44 20 75942640
Email: G.cadisch@wye.ac.uk

ISBN 979-95537-7-6

“Mengutip sebagian isi buku ini diperbolehkan, dengan menyebutkan sumber dan penerbitnya”

International Centre for Research in Agroforestry
Southeast Asia Regional Research Programme
Jl. CIFOR, Situ Gede, Sindang Barang, Bogor 16680
PO Box 161, Bogor 16001, Indonesia
Tel: +62 251 625415; fax: +62 251 625416; email: icraf-indonesia@cgiar.org
http: //www.icraf.cgiar.org/sea

Foto cover

Latar belakang oleh: Meine van Noordwijk
Kiri oleh: Pratiknyo Purnomosidhi
Kanan oleh: Meine van Noordwijk

Disain cover: Tikah Atikah, ICRAF SEA

Layout: Tikah Atikah dan Dwiati N Rini, ICRAF SEA

Dicetak oleh:
SMT Grafika Desa Putera, Jakarta

Isi di luar tanggung jawab Percetakan SMT Grafika Desa Putera, Jakarta

Daftar isi

Daftar isi	i
Daftar gambar	iv
Daftar tabel	ix
Pengantar	xi

Bab 1 Pendahuluan

1.1 Kebutuhan pangan dan ketersediaan lahan untuk pengembangan pertanian di Indonesia.....	1
1.2 Belajar memahami pandangan petani	2
1.3 Produksi pertanian yang berkelanjutan.....	3
1.4 Sasaran definisi dan ruang lingkup pengelolaan lahan secara biologi.....	4
1.5 Dasar pendekatan buku pedoman.....	8
1.6 Sasaran: pengguna buku pedoman	9
1.7 Sistematika penyajian buku pedoman.....	9

Bab 2 Pandangan petani: praktek usaha tani di tanah masam

2.1 Pengantar	11
2.2 Memahami kebutuhan hidup petani.....	12
2.2.1 Apa yang dibutuhkan?.....	12
2.2.2 Bagaimana usaha pemenuhan kebutuhan?	13
2.2.3 Prioritas kebutuhan.....	16
2.3 Kendala pemenuhan kebutuhan hidup petani	18
2.3.1 Permasalahan biofisik	18
2.3.2 Permasalahan sosial-ekonomi	20
2.4 Pemecahan masalah	21
2.4.1 Teknik pengelolaan tanah.....	22
2.4.2 Pengaturan sistem tanam	23
2.4.3 Pemilihan Jenis tanaman.....	24
2.5 Agroforestri: perpaduan antara tanaman semusim dan pepohonan	27
2.6 Penutup	28

Bab 3 Karakteristik tanah masam: pengalaman penelitian di Pakuan Ratu

3.1 Deskripsi lokasi penelitian	31
3.2 Keadaan iklim	33
3.2.1 Suhu udara, radiasi matahari, dan kelembababan udara.....	34
3.2.2 Curah hujan.....	36
3.3 Keadaan terain dan tanah.....	41

3.4 Permasalahan.....	46
3.4.1 Permasalahan aktual.....	47
3.4.2 Permasalahan potensial	56

Bab 4 Pemecahan masalah: upaya menuju pertanian berkelanjutan

4.1 Apa yang dimaksud dengan sistem pertanian yang berkelanjutan?	63
4.2 Cara-cara penanggulangan masalah kesuburan tanah masam	64
4.2.1 Cara kimia.....	65
A. Pengapuran	65
B. Pemupukan: penambahan unsur hara	66
C. Penyemprotan herbisida	67
4.2.2 Cara fisik – mekanik	67
4.2.3 Cara biologi	69
A. Mempertahankan kandungan Bahan Organik Tanah (BOT)	70
<i>Fungsi Bahan Organik Tanah (BOT)</i>	73
<i>Teknik penggantian fungsi BOT</i>	73
<i>Pengukuran kandungan BOT</i>	74
<i>Keragaman hayati komponen organik tanah</i>	76
<i>Fraksionasi BOT sebagai tolok ukur perubahan kandungan BOT</i>	77
<i>Bagaimana memilih bahan organik yang tepat?</i>	77
<i>Pemberian bahan organik untuk menambah N dan unsur hara lain</i>	79
<i>Bagaimana menerapkan hasil penelitian ke lapangan?</i>	81
B. Menjaring unsur hara	85
<i>Memilih tanaman berperakaran dalam</i>	85
<i>Seberapa dalam perakaran tanaman yang dibutuhkan?</i>	87
C. Infeksi mikoriza.....	87
D. Menanam tanaman famili Leguminose	89
<i>Apakah penanaman Legum dapat meningkatkan N kapital ?</i>	90
E. Memilih tanaman yang tahan terhadap keracunan Al	96
4.3 Teknik mana yang berkelanjutan?	99

BAB 5 Sistem agroforestri: tawaran untuk pemecahan masalah

5.1 Pendahuluan.....	101
5.2 Pengertian agroforestri.....	102
5.3 Interaksi pepohonan - tanaman semusim - tanah.....	103
5.3.1 Pengaruh pohon yang merugikan.....	104
5.3.2 Pengaruh pohon yang menguntungkan	105
5.4 Analisis dan sistesis sistem agroforestri.....	109
5.5 Bagaimana petani memulai sistem agroforestri ?.....	112
5.6 Mengapa produksi tanaman semusim menurun ?	114

5.7	Dasar-dasar pertimbangan memilih jenis pohon	117
5.8	Mengelola pohon.....	123
BAB 6 Simulasi model WaNuLCAS: model penggunaan Air, Hara dan Cahaya pada sistem Agroforestri		
6.1	Latar belakang.....	129
6.2	Simulasi model sebagai alat bantu diagnosa.....	129
6.3	Model simulasi WaNuLCAS	130
6.4	Keluaran model WaNuLCAS.....	132
6.5	Contoh-contoh hasil simulasi WaNuLCAS.....	132
6.5.1	WaNuLCAS sebagai alat bantu diagnosa kesehatan tanah.....	132
6.5.2	WaNuLCAS sebagai alat bantu evaluasi manfaat pengembalian sisa panen.....	137
6.5.3	WaNuLCAS sebagai alat bantu evaluasi manfaat akar pohon sebagai jaring penyelamat hara	140
6.5.4	WaNuLCAS sebagai alat bantu evaluasi kesuburan tanah setelah bera.....	149
6.6	Penutup	152
BAB 7 Cara memahami petani: menggali pendapat dan keinginan petani		
7.1	Pentingnya memahami petani	153
7.2	Bagaimana memahami petani?.....	156
7.2.1	Menggali informasi.....	156
7.2.2	Pendekatan sistem.....	157
7.2.3	Metode wawancara.....	158
7.3	Sifat dan karakter umum petani di Indonesia.....	161
7.3.1	Bertani untuk memenuhi kebutuhan hidup.....	161
7.3.2	Stadia perkembangan rumah tangga	162
7.3.3	Penguasaan dan penggunaan lahan.....	163
7.3.4	Pola tanam dan persepsi tentang pohon	164
7.4	Penutup	164
	Lampiran.....	167
	Kamus kecil.....	171
	Daftar pustaka.....	180
	Indeks.....	184

Daftar gambar

- Gambar 1.1 Perkembangan luas lahan beririgasi dan tadah hujan di Jawa & Madura dibandingkan dengan di luar Jawa (A) dan produktivitas lahan pertanian di Indonesia dibandingkan dengan di Jepang (Van der Eng, 1993).
- Gambar 1.2 Persiapan lahan pertanian dengan jalan menebang dan membakar hutan atau semak belukar (Foto: Meine van Noordwijk).
- Gambar 1.3 Macam Masalah dan Tingkat Kesulitan yang dihadapi Petani di Pakuan Ratu (Van Noordwijk *et al.*, 1996)
- Gambar 2.1 Tumpangsari karet dengan pisang, dan tanaman lain untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Karet merupakan tabungan petani untuk masa pensiun (Foto: Kurniatun Hairiah)
- Gambar 2.2 Pembukaan lahan pertanian yang dilakukan oleh petani Semendo dengan cara tebang bakar di daerah Lahat (Sumatera), batang pohon dipergunakan untuk membuat teras-teras untuk mencegah erosi. Lahan ditanami tanaman pangan dan kopi (Foto: Meine van Noordwijk)
- Gambar 2.3 Contoh pekarangan terdiri dari pohon mangga, rambutan, belinjo, pisang. Sebagai tumbuhan bawah adalah talas, sereh, kunyit dan lain-lainnya (Foto: Meine van Noordwijk).
- Gambar 3.1 Peta Situasi Kawasan Pakuan Ratu
- Gambar 3.2 Pola Sebaran Suhu Udara Rata-rata, Maksimum dan Minimum di Stasiun Bunga Mayang, Pakuan Ratu Tahun 1989.
- Gambar 3.3 Pola Sebaran Hujan Bulanan dan Evaporasi Bulanan di Stasiun Bunga Mayang, Pakuan Ratu Tahun 1989.
- Gambar 3.4 Variasi Curah Hujan Tahunan dari Tahun 1952 sampai dengan Tahun 1999 di Pakuan Ratu.
- Gambar 3.5 Sketsa Transek Bentuk Lahan Kawasan Pakuan Ratu
- Gambar 3.6 Pemandangan Umum kawasan Pakuan Ratu: penepelan yang sudah terbuka, bagian lembah masih menyisakan vegetasi alami yang disebut *gallery forest*. (Foto: Kurniatun Hairiah).
- Gambar 3.7 Profil tanah di Karta, Pakuan Ratu: masalah buruknya drainasi di lapisan bawah menyebabkan adanya konkresi besi. Krokos yang menghalangi akar menembus lapisan tanah lebih dalam. (Foto kiri oleh Wirastanto dan kanan oleh Kurniatun Hairiah).
- Gambar 3.8 Ketersediaan Air bagi tanaman berdasarkan analisis data hujan lima-harian di Pakuan Ratu untuk periode 1967-1999.
- Gambar 3.9 Sebaran Akar tanaman semusim (jagung) dan tanaman tahunan (gamal dan petaian) pada tanah masam di Pakuan Ratu (Hairiah *et al.*, 1992).
- Gambar 3.10 Distribusi perakaran jagung pada tanah masam: Keracunan Al pada akar jagung ditunjukkan oleh pembesaran diameter akar, terutama pada lapisan bawah (Van Noordwijk *et al.*, 1992)

- Gambar 3.11 Total panjang akar (Lrv) jagung pada sistem monokultur dan sistem budidaya pagar (tanaman pagar adalah petaian berselang-seling dengan gamal, petaian saja, dan gamal saja) pada berbagai kedalaman di Pakuan Ratu (Suprayogo, 2000).
- Gambar 3.12 Permukaan tanah yang terbuka diantara barisan kelapa sawit ditumbuhi alang-alang, bahaya kebakaran siap menanti ! (Foto: Kurniatun Hairiah)
- Gambar 3.13 Erosi, umum dijumpai di kawasan Pakuan Ratu. Pemulihan tanah ini memerlukan waktu ribuan tahun (Foto; Kurniatun Hairiah).
- Gambar 3.14 Pembukaan lahan pertanian secara manual dengan jalan tebang dan bakar yang umum dilakukan oleh petani di daerah Pakuan Ratu. Lahan segera ditanami dengan padi, dan sisa panen dikembalikan ke permukaan tanah, dan bibit pohon karet ditanam (Foto: Meine van Noordwijk).
- Gambar 3.15 Pembukaan lahan perkebunan dalam skala besar dengan cara tebang, bakar dan bulldozer untuk membersihkan dan meratakan permukaan tanah dari tunggul. Warna tanah terang menunjukkan munculnya tanah lapisan bawah ke permukaan (Foto: Meine van Noordwijk).
- Gambar 3.16 Skematis sinkronisasi yang rendah antara saat ketersediaan hara dan saat tanaman membutuhkannya. Kelebihan air dan hara bergerak ke lapisan bawah sampai di luar batas jangkauan akar tanaman. Pemilihan tanaman yang berperakaran dalam akan mengurangi jumlah hara yang tercuci ke lapisan yang lebih dalam.
- Gambar 3.17 Konsentrasi N pada berbagai kedalaman dalam profil tanah pada 1 jam setelah penambahan air (Van Noordwijk *et. al.*, 1992).
- Gambar 4.1 Skematis sinkronisasi antara saat pemberian pupuk dengan saat tanaman membutuhkan.
- Gambar 4.2 Skema heterogenitas infiltrasi air hujan dalam tanah akibat pembuatan guludan
- Gambar 4.3 Referensi kandungan C tanah hutan pada berbagai jumlah kandungan liat (%) di Sumatra.
- Gambar 4.4 Hubungan skematis antara fungsi bahan organik tanah dengan berbagai sistem pertanian dan teknologi alternatif.
- Gambar 4.5 Kandungan bahan organik tanah (BOT) pada hutan (0 tahun) dan lahan tebu pada berbagai umur (2-10 tahun) setelah pembakaran hutan.
- Gambar 4.6 Skematis sinkronisasi saat ketersediaan hara dari hasil mineralisasi dengan saat tanaman membutuhkannya pada berbagai macam masukan bahan organik (a) kualitas tinggi, (b) kualitas rendah, (c) campuran kualitas tinggi dan rendah dan (d) tanpa masukan bahan seresah (Myers *et al*, 1995).
- Gambar 4.7 Alur pengambilan keputusan pengelolaan bahan organik pada sistem pertanian. (a) Kualitas bahan organik berdasarkan data analisis komposisi kimia (b) berdasarkan pengalaman praktis pada tingkat petani (Giller, 1999).
- Gambar 4.8 Waktu pemberian bahan organik dengan mempertimbangkan faktor kualitas bahan organik dan musim penghujan di Lampung Utara (modifikasi dari Handayanto dan Ismunandar, 1999).
- Gambar 4.9 Skematis sinkronisasi ketersediaan hara dan saat tanaman membutuhkan serta kedalaman perakaran yang dibutuhkan

- Gambar 4.10 Sebaran perakaran dalam dari petaian yang menyebar dibawah akar jagung, sehingga pohon ini dapat mengurangi N yang hilang tercuci sekitar 70%, bila dibandingkan dengan sistim tanpa pohon (Foto: Pratiknyo P).
- Gambar 4.11 Sebaran perakaran dangkal dari lamtoro menyebabkan kompetisi air dan hara dengan akar jagung (Foto: Pratiknyo P).
- Gambar 4.12 Skematis endomikoriza pada akar pepohonan (kiri) dan foto VAM (Vesicular-Arbuscular Mycorrhizas) pada akar paitan (*Tithonia diversifolia*) (Foto: Supriyadi)
- Gambar 4.13 Skematis bintil akar koro benguk (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) dan kacang tunggak (*Vigna unguiculata*)
- Gambar 4.14 Hubungan skematis pengaruh tanaman legume terhadap kapital N tanah (Giller *et al.*, 1994).
- Gambar 4.15 Berat kering tajuk dan akar koro benguk pada berbagai kondisi tanah (Top= lapisan atas masih utuh dan Sub = lapisan atas telah hilang) dengan perlakuan pemupukan P (0 P = tanpa pupuk P dan TSP = ditambah pupuk P 1 ton ha⁻¹) (Hairiah, 1992).
- Gambar 5.1 Luasan total hutan dan lahan pertanian dan sistim penggunaan lahan lainnya di daerah Lampung Utara di tahun 1986 dan 1994 (van Noordwijk *et al.*, 1995)
- Gambar 5.2 Sistem agroforestri sederhana terdiri dari karet tumpangsari dengan ubi kayu dan cabe. (Foto: Kurniatun Hairiah)
- Gambar 5.3 Kebun karet milik petani sebagai salah satu contoh dari kompleks Agroforestri. Kebun ini masih merupakan tahap awal (pohon berumur sekitar 10 tahun), yang terdiri dari berbagai jenis pepohonan seperti jengkol, pete, dan berbagai pohon penghasil timber. Pada bagian bawahnya ditanami tanaman liar lain seperti pakis dsb. (Foto: Meine van Noordwijk).
- Gambar 5.4 Interaksi antara pohon dan tanaman pangan pada sistim agroforestri. (a= naungan; b= kompetisi akan air dan hara; c = daun gugur (seresah) dari pohon berguna untuk menambah C, N, P dan hara lainnya; d = pohon berperakaran dalam berperanan penting sebagai *jaring penyelamat hara* yang tercuci ke lapisan bawah).
- Gambar 5.5 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.) (Suprayogo *et al.*, 2000).
- Gambar 5.6 Pemandangan di dalam tanah tentang peranan penting liang yang terbentuk dari akar pohon yang telah mati. Tanah di dalam liang berwarna lebih gelap dan gembur dari pada tanah disekelilingnya 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)

- Gambar 5.7 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) (van Noordwijk, Hairiah, 2000).
- Gambar 5.8 Produksi umbi dari ubi kayu pada berbagai waktu pengamatan setelah pembakaran hutan di Pakuan Ratu, Lampung (Hairiah *et al*, 2000).
- Gambar 5.9 Neraca C dan N dari berbagai sistem pola tanam di Lampung Utara (Hairiah *et al*, 2000).
- Gambar 5.10 Sebaran tajuk beberapa tanaman pagar dalam sistem budi daya pagar di Pakuan Ratu, Lampung (Hairiah *et al*, 1992) .
- Gambar 5.11 Seresah daun jati dan alang-alang di permukaan tanah yang rawan akan kebakaran (Foto: Kurniatun Hairiah)
- Gambar 5.12 Petaian (kiri) dan gamal (kanan) ditanam berbaris untuk memberantas alang-alang melalui efek naungan. Tajuk gamal meyebar ke samping tetapi tidak cukup rimbun sehingga masih banyak matahari yang masuk, maka populasi alang-alang masih tinggi. (Foto: Meine van Noordwijk).
- Gambar 5.13 Skematik respon akar dan tajuk terhadap berbagai kondisi kesuburan tanah (ketersediaan air dan hara) pada tanah-tanah pertanian (Schuurman, 1983).
- Gambar 5.14 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)
- Gambar 5.15 Foto akar petaian (*Peltophorum*) yang dipangkas setinggi 50 cm (pohon sebelah kiri); dan 75 cm (pohon sebelah kanan) (Foto: Kurniatun Hairiah).
- Gambar 5.16 Total panjang akar (Lrv) petaian dan gamal pada berbagai kedalaman tanah pada berbagai perlakuan teknik penanaman.
- Gambar 6.1 Diagram model WaNuLCAS yang tersusun atas 3 komponen yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman yaitu air, hara dan cahaya dalam sistem agroforestri.
- Gambar 6.2 Sebaran curah hujan yang digunakan dalam simulasi (total curah hujan antara bulan Nopember 1997 hingga bulan Oktober 1998 adalah 3102 mm).
- Gambar 6.3 Hasil simulasi tingkat produksi jagung pada berbagai kondisi cekaman (air, unsur N dan P) tanah.
- Gambar 6.4 Hasil simulasi produksi tanaman jagung pada berbagai kondisi pada berbagai musim tanam. Kondisi (A) kendala air, kondisi (B) kendala unsur N dan kondisi (C) kendala unsur P.
- Gambar 6.5 Pengaruh pengembalian sisa panen: (-●-) tanpa pengembalian dan (-▲-) dengan pengembalian terhadap (A) produksi tanaman jagung MT1, (B) produksi tanaman jagung MT2, (C) kandungan bahan organik tanah, (D) peningkatan C-total, (E) serapan N oleh tanaman jagung, dan (F) tingkat pencucian N.
- Gambar 6.6 Penanaman petaian sebagai tanaman pagar diantara barisan jagung dalam sistem budi daya pagar (Foto: Meine van Noordwijk)

- Gambar 6.7 Hasil simulasi pemupukan N pada sistim pola tanam monokultur (--●--) dan budidaya pagar (--■--). Pengaruh pemupukan N: tanpa N (—) dan dengan pemupukan N (----) terhadap (A) produksi tanaman jagung pada MT1, (B) produksi tanaman jagung pada MT2, (C) C-total tanah, (D) kandungan N dalam bahan organik tanah, (E) serapan N oleh tanaman jagung, dan (F) tingkat pencucian N dalam tanah.
- Gambar 6.8 Pengaruh perlakuan pemupukan N terhadap: (A) rata-rata masukan biomass ke permukaan tanah, (B) nisbah serapan N: N tersedia dalam tanah, (C) limpasan permukaan, dan (D) drainase tanah pada pola tanam monokultur dan budidaya pagar.
- Gambar 6.9 Tanah hutan ... 'tanah dingin' dengan lapisan organik tebal (Foto: Meine van Noordwijk)
- Gambar 6.10 Akumulasi seresah daun petaian yang lambat lapuk (Foto: Wirastanto)
- Gambar 6.11 Estimasi produksi biji jagung selama 3 musim tanam (MT). MT 1 dan 3 adalah pada musim penghujan (Desember-Maret) dari dua tahun simulasi , sedang MT 2 adalah pada kondisi kering (April-Juni). Setelah tanah diberakan (ditumbuhi petaian) yang merupakan titik awal simulasi, tanah mendapat perlakuan dengan atau tanpa pupuk N dan/atau P.
- Gambar 7.1 Usaha peneliti dalam memahami kebutuhan dan masalah-masalah yang dihadapi petani di lapangan. (Foto: Kurniatun Hairiah).

Daftar tabel

- Tabel 1.1 Hipotesis Pengelolaan Tanah secara Biologi untuk Penggunaan Lahan yang Berkelanjutan (sebagai contoh praktek agroforestri) (Huxley, 1999).
- Tabel 2.1 Parameter Kesuburan Tanah dihubungkan dengan Persepsi Petani di Pakuan Ratu
- Tabel 2.2 Daftar jenis pohon dan tanaman berdasarkan ketahanan terhadap kekeringan menurut persepsi petani di Pakuan Ratu.
- Tabel 2.3 Daftar jenis pohon berdasarkan ketahanan terhadap kebakaran menurut persepsi petani di Pakuan Ratu.
- Tabel 3.1 Data Iklim Rata-rata Bulanan di Karta, PG Bunga Mayang, Lampung Utara (1989)
- Tabel 3.2 Zone agroklimat selama 48 tahun terakhir
- Tabel 3.3. Peluang terjadinya Bulan Basah ($> 200 \text{ mm bulan}^{-1}$) dan Bulan Kering ($100 \text{ mm bulan}^{-1}$) selama 48 tahun terakhir di Kotabumi.
- Tabel 3.4 Tekstur tanah salah satu profil tanah di Karta
- Tabel 3.5 Beberapa sifat kimia tanah di Karta
- Tabel 3.6 Tingkat keracunan Al pada tanah di daerah Karta
- Tabel 3.7 Interpretasi hasil uji tanah untuk unsur makro dan unsur mikro
- Tabel 3.8. Contoh Perhitungan Kapasitas Tanah untuk menyediakan air dan K yang dipengaruhi oleh kedalaman perakaran tanaman berdasarkan data dan asumsi di kawasan Pakuan Ratu
- Tabel 4.1 Kriteria berkelanjutan dari suatu perkembangan pola tanam, dengan menitik beratkan pada usaha pengendalian masalah lingkungan pada tingkat lokal, regional dan nasional/global.
- Tabel 4.2 Total masukan berat kering tajuk (ton ha^{-1}) tanaman penutup tanah kacang-kacangan, kandungan N dalam tanaman (%), nisbah tajuk/akar dan taksiran masukan N-total kedalam tanah (kg ha^{-1}), pada saat tanaman berumur 3 dan 6 bulan.
- Tabel 4.3 Total masukan biomas tajuk rata-rata per tahun yang merupakan hasil pangkasan rata-rata tiga kali setahun, kandungan N daun dan total masukan N ke dalam tanah.
- Tabel 4.4 Pengelompokan BOT berdasarkan umur paruh yang ditaksir melalui simulasi model *CENTURY* (Parton *et al.*, 1987) dan komposisi kimianya (Woomer *et al.*, 1994).
- Tabel 4.5 Infeksi mikoriza (% total panjang akar) pada beberapa tanaman legum penutup tanah pada saat tanaman berumur 14 minggu pada tanah masam (Hairiah dan Van Noordwijk, 1986).
- Tabel 4.6 Besarnya N yang ditambat dari udara (fiksasi), jumlah N dalam biji dan neraca N dari berbagai jenis tanaman. Neraca N = penambatan N di udara – N yang tertumpuk di biji.

- Tabel 4.7 Neraca N tahun pada sistem budidaya pagar berumur 2 dan 3 tahun (yang ditunjukkan dengan angka dalam kurung) dan tumpang gilir. Jumlah N tertambat dari udara pada tahun ke tiga ditetapkan hanya berdasarkan asumsi bahwa jumlahnya sama dengan yang diperoleh pada tahun ke 2 (Hairiah *et al.*, 2000).
- Tabel 4.8 Beberapa contoh tanaman yang toleran terhadap tingkat kemasaman tinggi.
- Tabel 5.1 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).
- Tabel 5.2 Analisis interaksi pohon dan tanaman pangan berdasarkan pengaruhnya terhadap kesuburan tanah (*F*) dan kompetisi (*C*) terhadap produksi jagung.
- Tabel 5.3 Komposisi kimia tanah hutan sebelum dan sesudah pembakaran di daerah Pakuan Ratu (Hairiah *et al.*, 1996).
- Tabel 5.4 Konsentrasi total kation, nisbah C/N, Lignin: N (Lg/N), Polyphenolic: N (Pp/N) dari biomas yang dipakai dalam percobaan inkubasi.
- Tabel 6.1 Beberapa sifat tanah yang digunakan dalam simulasi (KTK = Kation dapat ditukar, BI = bobot isi tanah.)
- Tabel 6.2 Skenario pola tanam yang diuji dalam simulasi WaNuLCAS
- Tabel 6.3 Evaluasi dampak interaksi pohon dan tanaman pangan dalam sistem budidaya pagar dibandingkan dengan sistem monokultur.

Pengantar

Buku pedoman Lapangan tentang Pengelolaan Tanah Masam Secara Biologi ini diangkat dari pengalaman penelitian jangka panjang yang dilaksanakan di Lampung Utara, tepatnya di desa Karta dan sekitarnya. Percobaan-percobaan lapangan dilaksanakan sejak tahun 1985 sampai dengan tahun 2000, ditunjang oleh percobaan pot di rumah kaca serta survei lapangan. Kegiatan tersebut telah menghasilkan sejumlah laporan, tulisan ilmiah yang diterbitkan dalam beberapa jurnal ilmiah, bahan seminar, poster dan sebagainya. Pengalaman itulah yang ingin disampaikan kepada praktisi di lapangan dalam bentuk sebuah buku pedoman praktis yang dapat dipakai sebagai pegangan di lapangan. Dengan demikian bila penyuluh dan praktisi lapangan dapat memahami prinsip-prinsip dasar pengelolaan tanah masam dengan baik, maka mereka dengan mudah dapat mengembangkan dan memperbaiki teknik pengelolaan yang sesuai dengan kondisi dan kebutuhan setempat. Peneliti hanya menyediakan alat bantu berupa jawaban dari pertanyaan-pertanyaan yang dilontarkan dari lapangan, misalnya mengapa tanah menjadi 'dingin' atau 'panas', mengapa pohon mati waktu kemarau panjang dan adakah cara untuk memperbaiki pertumbuhannya dan sebagainya. Oleh karena tulisan ini berawal dari pengalaman yang spesifik, maka perlu diperhatikan terlebih dulu tentang deskripsi (*setting*) wilayah yang menjadi latar belakang dari penulisan pengalaman ini (Bab II dan III). Karena kondisi daerah di mana Buku Pedoman lapangan ini akan digunakan mungkin berbeda dengan kondisi daerah Karta, Lampung Utara, maka pemakai buku ini seharusnya melakukan penyesuaian sendiri.

Buku Pedoman ini dapat tersaji di hadapan para pembaca karena peran aktif dari berbagai pihak, baik perorangan maupun institusional, yang telah ikut serta menabur karya dalam beraneka bentuk. Untuk mereka perlu kami sampaikan penghargaan yang tulus:

- Hasil penelitian yang mendasari penulisan buku ini diperoleh dari Proyek Penelitian *Biological Management for Soil Fertility* (BMSF) yang merupakan kerjasama antara Universitas Brawijaya, Malang dengan PTP Nusantara V Unit Usaha Bunga Mayang (Lampung) dan Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren (Belanda). Proyek ini dirintis oleh almarhum *Dr. Slamet Setijono* (Unibraw), *Ir. Samsir* (PTP Nusantara V) dan *Ir. Jan van der Heide* (IB, Haren) dan ketiganya adalah peletak batu pertama kerjasama antara ketiga institusi yang dimulai pada tahun 1984, dengan memulai kegiatannya di wilayah Unit Usaha Bunga Mayang (Lampung Utara). Pengelola Proyek BMSF periode berikutnya seperti *Prof. Dr. Bambang Guritno*, *Prof. Dr. Wani Hadi Utomo*, *Prof. Dr. Syekhiani*, *Ir. Bambang Siswanto MS* dan *Ir. Sunarto Ismunandar MS*, serta Pengelola lapang antara lain adalah *Ir. Pratiknyo Purnomosidhi MS*, *Ir. Dawam MS* dan *Ir. Arief Rokhman Latif*.

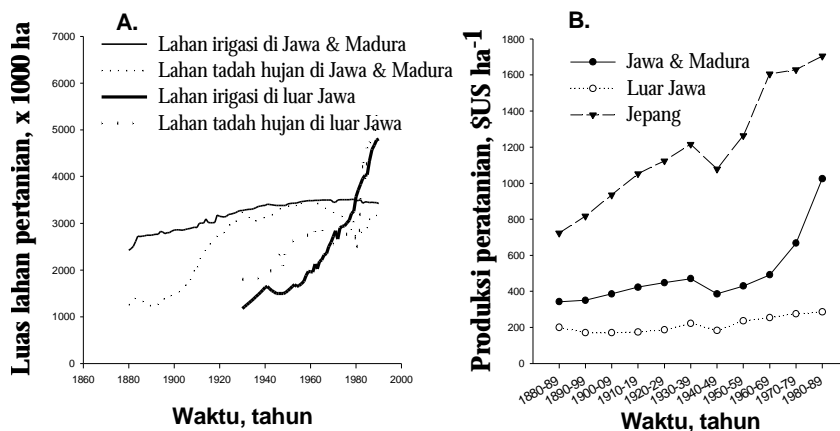
- Data dan temuan-temuan yang dikutip dan disajikan dalam buku ini dihasilkan melalui kerja keras oleh peneliti-peneliti baik staf pengajar dan mahasiswa dari Unibraw maupun peneliti-peneliti dari Belanda dan Inggris, yang namanya tidak dapat disebutkan satu persatu. Tulisan ini merupakan penghargaan kepada mereka semua dan sebagai ungkapan rasa terimakasih kami.
- Tak lupa kami berterimakasih kepada seluruh asisten lapangan Proyek BMSF untuk periode tahun 1984-2000, atas kerja keras mereka dalam mengelola percobaan guna memperoleh data lapangan yang berkualitas dan atas kesetiaan mereka dalam mempertahankan kelancaran tugas penelitian pada kondisi lapangan yang kadang-kadang kurang bersahabat.
- Beberapa kolega yang ikut mendukung dan membantu kelancaran selama penulisan buku ini antara lain *Ir. Rahayu Subekti, Ibu Fajar Hasanah, Pak Sarkam*. Untuk penyelesaian buku ini tim penulis 'mengurung diri' selama satu minggu di Bogor, tanpa harus mengkhawatirkan 'menu' makanan atau minuman berkat kerja keras dan bantuan *Mas Edi Santoso* dan *Mas Tumiran*.
- Terimakasih untuk teman-teman di ICRAF, khususnya *Ibu Tikah Atikah, Dwiati N. Rini* dan *Pak Wiyono* yang telah membuat buku ini menjadi lebih indah dan menarik, walaupun munculnya gambar hewan tanah kurang mendapat sambutan hangat.
- Kami juga berterima kasih sangat menghargai saran serta komentar beberapa kolega, diantaranya: *Dr. Ir. Fachmudin Agus* (Puslittanak), *Ir. Djuber Pasaribu, MSc* (Puslitbangtan), *Ir Amin Sunarhadi MP* (Universitas Muhammadiyah Surakarta) serta beberapa orang mahasiswa Universitas Brawijaya baik S-1 (*Cipto Sugiarto* dan *Sri Rahayu*) maupun Pasca Sarjana (*I Wayan Tika, Djoko, Hairil Ifansyah, Teddy Siswandi W, Laksmi Sulmartiwi, Gusti Irya I., Neny Sukmawatie, dan Eni*). Mereka telah dengan sukarela membaca dan memberikan komentar dan saran yang sangat berharga terhadap perbaikan naskah buku ini.
- Dan rekan-rekan serta pihak-pihak yang belum disebutkan secara eksplisit, karena terbatasnya ruangan yang tersedia.
- Buku ini tidak akan pernah terbit tanpa ada bantuan finansial dari DFID (*Departement for International Development, R6523 Forestry Research Program*), UK, tetapi isi diluar tanggung jawab DFID.

Akhirnya, mudah-mudahan buku ini dapat dimanfaatkan oleh para praktisi di lapangan seperti para pendamping, penyuluh, pembina atau petugas lapangan lainnya serta para mahasiswa maupun peneliti.

1 Pendahuluan

1.1 Kebutuhan pangan dan ketersediaan lahan untuk pengembangan pertanian di Indonesia

Peningkatan jumlah penduduk yang cukup tinggi di Indonesia perlu diiringi dengan peningkatan produksi pangan yang cepat pula. Jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2000 adalah 203.406.005 orang (data BPS, 2001) dengan tingkat pertumbuhan tahunan rata-rata 1,52 % antara 1990-2000. Sementara tingkat pertumbuhan produksi pertanian di Indonesia dari tahun 1995 hingga 2010 diperkirakan sekitar 1,34% setiap tahunnya (Simatupang, 1995). Pemerintah menggunakan dua strategi dasar dalam memenuhi tuntutan peningkatan produksi pertanian yaitu melalui perluasan lahan pertanian (*ekstensifikasi*) dan peningkatan pendaya-gunaan lahan pertanian yang telah ada (*intensifikasi*). Upaya ekstensifikasi di Jawa dan Madura sudah tidak mungkin lagi dilakukan karena keterbatasan lahan. Namun upaya intensifikasi sejak 1971 telah dilaporkan dapat meningkatkan produktivitas lahan (*Gambar 1.1*). Di pulau-pulau lain di luar Jawa, luasan lahan pertanian tadah hujan meningkat secara drastis sejak tahun 1940, tetapi tidak diikuti oleh peningkatan produktivitas lahan (Van der Eng, 1993). Menurut Santoso (1998), luas lahan tadah hujan di Indonesia mencakup 5.018,1 juta ha atau 26% dari total luas daratan Indonesia. Lahan tersebut tersebar di Jawa (12%), Sumatra (28%), Kalimantan (16%), Sulawesi (12%), Irian Jaya (21%) dan pulau-pulau lainnya (11%).



Gambar 1.1 Perkembangan luas lahan beririgasi dan tadah hujan di Jawa & Madura dibandingkan dengan di luar Jawa (A) dan produktivitas lahan pertanian di Indonesia dibandingkan dengan di Jepang (Van der Eng, 1993).

Lahan tadah hujan di luar Jawa sebagian besar merupakan konversi dari hutan yang memiliki reaksi tanah masam, biasanya diklasifikasikan sebagai tanah *Ultisols* atau *Oxisols* (mencakup tanah-tanah yang sebelumnya dinamakan *Podsolik Merah Kuning*, *Latosol*, atau *Laterit*). Produksi yang diperoleh dari lahan hasil konversi hutan ini sering mengecewakan para petani kecil baik yang membuka hutan atas kemauan sendiri maupun yang dimukimkan lewat program transmigrasi.

Ultisols merupakan salah satu kelompok tanah masam yang paling banyak dijumpai di Indonesia. Di Sumatera dan Kalimantan saja terdapat sekitar 57,4 juta ha atau meliputi 29% dari total luas Indonesia. Tanah Podsolik di Sumatera luasnya 21 juta ha sementara di Kalimantan seluas 15,5 juta ha, sedangkan di Jawa hanya seluas 2 juta ha (Van der Heide *et al.*, 1992). Mengingat tanah Ultisols yang paling luas terdapat di Sumatera, maka banyak penelitian tanah masam dilakukan di kawasan ini. Pengalaman penelitian jangka panjang pada tanah Ultisols di Lampung dipakai sebagai dasar utama untuk menyusun Buku Pedoman ini, dengan harapan bisa menjadi dasar pengelolaan lahan tadah hujan khususnya tanah masam di kawasan lainnya.

Pengelolaan lahan yang semakin intensif misalnya dengan penggunaan pupuk anorganik dalam dosis tinggi secara terus menerus, memacu proses pemasaman tanah sehingga luasan tanah masam terus meningkat.

Penelitian pada pola bercocok tanam yang intensif pada tanah mineral masam dibandingkan dengan tanah vulkan yang relatif lebih subur telah banyak dilakukan. Penelitian tersebut ditujukan untuk mempelajari potensi tanah masam ditinjau dari masalah kesuburannya dan kendala pengelolannya, sehingga tanah masam dapat dipakai sebagai tempat ekspansi lahan pertanian. Hasilnya menunjukkan bahwa masalah ketersediaan hara dan pengelolannya adalah merupakan masalah utama yang harus diperhatikan (Kang, 1989). Oleh karena itu pengelolaan tanah masam yang tepat sangat diperlukan.

1.2 Belajar memahami pandangan petani

Selama dua dasawarsa terakhir telah banyak dilaksanakan penelitian-penelitian tentang upaya menangani masalah penurunan kesuburan tanah masam yang timbul akibat konversi lahan hutan menjadi lahan pertanian. Hasil-hasil penelitian tersebut telah dipublikasikan dalam bentuk laporan penelitian dan tulisan ilmiah lainnya. Hampir semua laporan dan tulisan ilmiah juga menyertakan rekomendasi penanganan dan pemecahan masalah: apa yang seharusnya dilakukan oleh para petani. Namun, kenyataannya, banyak petani yang tidak melaksanakan apa yang direkomendasikan oleh para peneliti itu. Ada banyak alasan yang menyebabkan petani tidak melakukan rekomendasi yang diberikan, namun paling tidak dua alasan berikut perlu menjadi perhatian bersama.

Alasan pertama ialah adanya perbedaan pandangan atau pemahaman antara peneliti dan petani. Harus diakui bahwa rekomendasi yang diberikan oleh

para peneliti seringkali didasarkan pada sudut pandang atau pengetahuan para peneliti sendiri. Dengan kata lain, rekomendasi yang diberikan adalah apa yang seharusnya dilakukan bila dilihat dari sudut ilmiah. Namun para petani memiliki pertimbangan dan pemahaman yang mungkin sangat berbeda, sehingga apa yang dilakukan petani tidak selalu sesuai dengan apa yang direkomendasikan peneliti. Oleh karena itu Buku Pedoman ini ditulis dengan dasar pandangan ilmiah yang obyektif dan kritis, tetapi realistis dalam analisis permasalahan, sehingga hasilnya lebih ditekankan pada pemunculan alternatif-alternatif pemecahan masalah yang disertai alasan-alasan yang mendasarinya.

Alasan kedua yang menyebabkan petani tidak menerapkan rekomendasi yang sudah diuji melalui percobaan adalah perbedaan sasaran penelitian. Walaupun percobaan dirancang untuk menjawab suatu masalah, tetapi seringkali sasaran hasil penelitian tersebut berupa laporan yang ditujukan kepada instansi (pemerintah) atau sponsor dan masyarakat ilmiah. Karena diperuntukkan bagi masyarakat ilmiah, maka bahasanya juga menggunakan bahasa ilmiah. Bahasa ilmiah ini sangat berbeda dengan bahasa petani. Bahasa ilmiah cenderung menggunakan istilah-istilah yang bersifat lugas dan sudah dibakukan untuk kalangan ilmiah – mungkin sulit untuk dicarikan padanannya dalam bahasa sehari-hari. Singkatnya, ada hambatan komunikasi sehingga petani tidak bisa menangkap secara utuh apa yang dimaksud oleh peneliti. Menyadari hal tersebut, maka temuan ilmiah serta rekomendasi yang relevan untuk pemecahan masalah petani dituliskan dalam buku ini dengan bahasa yang sederhana dan praktis – mendekati bahasa ilmiah populer. Usaha ini dimaksudkan untuk menjembatani jurang komunikasi antara masyarakat pengguna buku ini (penyuluh, praktisi dan petani) dengan masyarakat ilmiah. Dengan hilangnya jurang komunikasi ini, diharapkan penyebar-luasan (*diseminasi*) hasil-hasil penelitian akan jauh lebih lancar. Sebaliknya terbinanya komunikasi yang lebih intim antara masyarakat ilmiah dengan masyarakat tani menyebabkan para ilmuwan lebih mudah membaca masalah yang dihadapi petani yang perlu dicari pemecahannya melalui suatu penelitian.

1.3 Produksi pertanian yang berkelanjutan

Penerapan konsep produksi tanaman yang berkelanjutan di lahan tadah hujan di daerah tropika basah selalu menarik untuk dikaji. Sebagai contoh, penanaman ubi kayu secara terus menerus yang banyak dilakukan pada tanah masam oleh petani transmigran asal Jawa di berbagai tempat di Sumatera. Pengalaman mereka memberi bukti bahwa produksi umbi mengalami penurunan dari waktu ke waktu dan kondisi tanah menjadi semakin tidak subur. Menurunnya produksi tanaman ini, merupakan salah satu indikator bahwa sistem pola tanam tersebut tidak berkelanjutan (*sustainable*). Akibat lebih lanjut dari merosotnya kesuburan tanah ini adalah pilihan sistem penggunaan lahan (pemilihan jenis tanaman yang sesuai) menjadi sangat terbatas dan biasanya diakhiri dengan padang alang-alang!

Produksi pertanian yang berkelanjutan, merupakan salah satu sasaran akhir dari pengelolaan yang akan dibahas dalam buku ini, dicirikan oleh stabilitas produksi dalam jangka panjang. Beberapa indikator terselenggaranya pertanian yang berkelanjutan antara lain adalah terpeliharanya struktur dan kondisi biologi tanah termasuk cukupnya kandungan bahan organik tanah, terpeliharanya kesetimbangan unsur hara dan adanya perlindungan tanaman terhadap gulma, hama dan penyakit (Tomich *et al.*, 1998). Berdasarkan kriteria tersebut ternyata bahwa semua sistem pertanian berbasis pohon (agroforestri dan perkebunan monokultur) di Sumatera merupakan sistem-sistem pertanian yang dapat dikatakan berkelanjutan.

1.4 Sasaran, definisi dan ruang lingkup pengelolaan lahan secara biologi

Strategi pengelolaan lahan kering atau tadah hujan di daerah tropika basah dapat melalui 3 pilihan yaitu:

- (a) **Masukan tinggi (*high external input*)**, merupakan upaya yang dilakukan petani dalam rangka menanggulangi masalah di lapangan melalui penambahan substansi umumnya anorganik ataupun energi yang diperoleh dari lain tempat yang ditujukan untuk merubah kondisi setempat yang kurang menguntungkan. Misalnya pengapuran, pemupukan, pengolahan tanah dsb. Cara ini bila tidak dilakukan dengan hati-hati justru menimbulkan masalah lingkungan pada skala yang lebih luas, misalnya pencemaran air tanah, polusi air sungai dan sebagainya. Disamping itu cara ini kurang cocok untuk tingkat pendapatan petani kecil di daerah tropis umumnya.
- (b) **Masukan rendah (*low external input, local plant resource*)**, merupakan upaya petani dalam menanggulangi masalah di lapangan melalui pengaturan penggunaan sumber organik lokal. Cara ini juga sering disebut dengan “*Pengelolaan Tanah Secara Organik*” atau “*Pengelolaan Tanah Secara Biologi*”. Misalnya dengan pengaturan pola tanam baik yang berpindah, menetap maupun yang semi menetap. Usaha yang dilakukan antara lain meliputi pemilihan tanaman yang tahan pada kondisi setempat, memilih tanaman yang berperakaran dalam, mempertahankan kandungan bahan organik tanah melalui pengembalian sisa panen dan memilih jenis bahan organik yang tepat, dan sebagainya. Cara ini lebih ramah lingkungan dari pada cara pertama, namun membutuhkan waktu yang agak lama untuk melihat dampaknya.
- (c) **Pengelolaan terpadu** merupakan pengelolaan dengan cara kombinasi penggunaan sumber anorganik dan organik. Misalnya upaya meningkatkan efisiensi penggunaan hara dengan jalan menanam tanaman berperakaran dalam di antara tanaman semusim yang dipupuk,

atau mengatur waktu pemberian pupuk sesuai dengan kebutuhan tanaman (sinkronisasi).

Pada lahan tadah hujan di daerah Sumatera pola tanam yang umum dilakukan adalah rotasi tanaman pangan dengan perdu/semak belukar (**bera = fallow**). Menurut Ruthenberg (1976) "BERA" ini dapat berarti bahwa tanah kosong yang tidak ditanami untuk sementara waktu, tetapi sebelumnya telah ditanami selama beberapa tahun dan akan ditanami kembali di waktu mendatang". Pada dasarnya periode BERA memiliki dua fungsi:

- Perbaiki kesuburan fisik, kimiawi, dan biologis tanah (termasuk pencegahan hama dan penyakit) yang diperlukan pada periode tanam berikutnya.
- Penghasil produk-produk tertentu penambah pendapatan petani misalnya pakan ternak, kayu bakar, obat-obatan, madu dan sebagainya.

Sistem bera ini biasanya dicirikan dengan masukan rendah, produksi tanaman rendah, siklus tanam pendek (*short cropping cycles*) dan siklus bera yang relatif panjang guna perbaikan kesuburan tanah. Misalnya pada sistem ladang berpindah (Gambar 1.2) atau sistem pertanian berbasis pohon lainnya. Periode bera memegang peranan yang sangat penting dalam perbaikan kesuburan tanah, namun karena adanya tekanan pada kebutuhan lahan untuk tempat tinggal maka periode bera ini harus dipersingkat dan bahkan dihilangkan sama sekali dan sebagai gantinya dilakukan pemupukan.

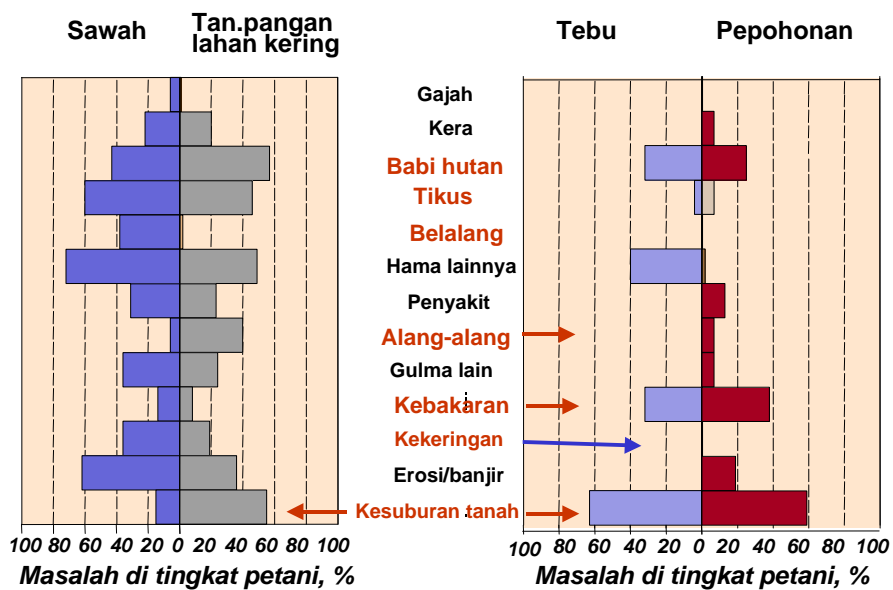
Usaha intensifikasi pertanian di Indonesia seringkali mengakibatkan pengurasan hara dari dalam tanah akibat pengangkutan panen dalam jumlah besar, dan sistem pengelolaan kesuburan tanah pada sistem intensifikasi ini hanya ditekankan pada penggantian hara melalui pemupukan, tanpa adanya usaha untuk mempertahankan usaha pengelolaan kesuburan tanah secara menyeluruh. Dengan demikian usaha intensifikasi ini seringkali diikuti oleh penurunan produksi tanaman dan kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan.

Sistem pengelolaan tanah secara biologi yang menetap merupakan sistem yang dibutuhkan untuk kondisi petani kecil saat ini. Sebagian besar petani di Sumatera mengusahakan sistem pertanian berbasis pohon (agroforestri dan perkebunan monokultur) yang merupakan sistem pertanian dengan masukan rendah. Pada contoh kasus di Pakuan Ratu-Lampung (Gambar 1.3), petani umumnya mengatakan bahwa masalah hama (seperti belalang, tikus), penyakit, dan kekeringan yang mereka hadapi pada sistem tersebut lebih kecil dibandingkan dengan sistem pertanian tanaman semusim secara monokultur (Van Noordwijk *et al.*, 1996).

1 Pendahuluan



Gambar 1.2 Persiapan lahan pertanian dengan jalan menebang dan membakar hutan atau semak belukar (Foto: Meine van Noordwijk).



Gambar 1.3 Macam masalah dan tingkat kesulitan yang dihadapi petani di Pakuan Ratu (Van Noordwijk *et al.*, 1996).

Rendahnya masalah-masalah lingkungan yang dijumpai di lapangan itu menunjukkan sistem pertanian berbasis pohon ini merupakan sistem pertanian yang berkelanjutan. Untuk itu sebelumnya perlu dipahami bahwa pengelolaan

tanah secara biologi yang diangkat dalam tulisan ini diawali dengan beberapa kunci hipotesis yang disajikan di Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Hipotesis Pengelolaan Tanah secara Biologi untuk Penggunaan Lahan yang Berkelanjutan (misalnya agroforestri) (Huxley, 1999).

Lewat proses-proses dalam tanah:

1. Mengurangi erosi tanah.
2. Mempertahankan kandungan bahan organik tanah
3. Memperbaiki dan mempertahankan sifat fisik tanah (lebih baik dibanding tanaman semusim).
4. Menambah jumlah kandungan N tanah melalui penambatan N dari udara oleh tanaman legume
5. Sebagai jaring penyelamat hara yang tercuci di lapisan tanah bawah, dan menciptakan daur ulang ke lapisan tanah atas melalui mineralisasi seresah yang jatuh di permukaan tanah.
6. Membentuk kurang lebih sistem ekologi yang tertutup (yaitu menahan semua, atau hampir semua, atau sebagian besar unsur hara di dalam sistem)
7. Mengurangi kemasaman tanah (melalui pelepasan kation dari hasil mineralisasi seresah)
8. Mereklamasi tanah yang terdegradasi
9. Memperbaiki kesuburan tanah lewat masukan biomass dari sistem perakaran pohon dan kontribusi dari bagian atas pohon
10. Memperbaiki aktivitas biologi tanah dan mineralisasi N lewat naungan pohon
11. Memperbaiki asosiasi mikoriza lewat interaksi tanaman dan pohon

Lewat interaksi biofisik:

12. Memperbaiki penyerapan hujan, cahaya dan nutrisi mineral, sehingga meningkatkan produksi biomass.
13. Memperbaiki efisiensi penyerapan hujan, cahaya dan nutrisi mineral yang dipakai.
14. Terhindar dari penyebaran dan kerusakan yang disebabkan oleh serangan hama dan penyakit.

Keuntungan lingkungan yang lain dari pohon atau semak adalah:

15. Meningkatkan penambatan N pohon legume melalui peningkatan jumlah bintil akar bila akar pohon legume tersebut tumbuh berdekatan atau kontak langsung dengan akar tanaman bukan penambat N (mungkin dikarenakan adanya perpindahan langsung dari unsur N atau rendahnya ketersediaan N dalam tanah yang meningkatkan efektifitas bintil akar)
16. Tajuk pohon dapat melindungi tanah dari bahaya erosi
17. Pepohonan memberikan peneduh bagi tanaman yang membutuhkan naungan (misalnya kopi) dan menekan populasi rerumputan yang tumbuh dibawahnya.

Bila dikaji lebih jauh konsep pengelolaan tanah secara biologi di daerah tropika basah memang menarik untuk didengar dan dipelajari. Strategi dan sasarannya mudah dikatakan, namun pelaksanaannya pada tingkat petani tidaklah mudah. Hal ini bisa terjadi karena kelemahan penguasaan pengetahuan dasar tentang sistem ini dan pemahaman kondisi setempat masih rendah, sehingga menyulitkan pelaksanaannya di lapangan. Sebagai contoh petani yang berasal dari daerah subur tidak dapat secara langsung mentransfer pengetahuan yang dimiliki sebelumnya ke daerah-daerah baru yang berbeda kondisinya (kurang subur). Mereka harus belajar keras dalam memahami dan menanggulangi masalah yang dihadapi di tempat baru, bila tidak mungkin mereka harus pindah ke tempat lain lagi! Pada sisi lain peneliti dapat belajar dan menggali banyak pengetahuan dari petani lokal tentang konsep dan istilah yang mereka pergunakan di lapangan, dan mencoba menghubungkannya dengan pengetahuan ilmiah yang dimilikinya. Dengan demikian hasilnya diharapkan dapat membantu petani dalam memecahkan masalah yang sesuai dengan kebutuhan dan kondisi setempat.

1.5 Dasar pendekatan buku pedoman

Lahan kering (tadah hujan) memiliki ciri yang sangat beragam ditinjau dari segala aspek, termasuk iklim dan sifat-sifat tanah serta penguasaan lahan. Oleh karena itu pengelolaan lahan tadah hujan merupakan masalah yang kompleks. Dengan demikian, pedoman untuk melakukan pengelolaan tanah yang menyeluruh dengan memperhatikan keaneka ragaman sifat dan ciri lahan tadah hujan di Indonesia hampir tidak mungkin dibuat. Buku Pedoman ini merupakan refleksi (yang melibatkan proses analisis dan sintesis) pengalaman yang sangat terbatas yaitu dari penelitian selama 15 tahun pada Proyek *Biological Management of Soil Fertility* (BMSF) di daerah Pakuan Ratu, Lampung. Apa yang ada di dalam buku ini diharapkan dapat dipakai sebagai contoh dan membantu petugas lapangan dan pengambil kebijakan dalam memahami masalah-masalah yang dihadapi di lapangan. Dengan demikian diharapkan dapat diperoleh jalan pemecahannya yang sesuai dengan kondisi setempat.

Buku Pedoman ini **bukan merupakan buku pintar** di mana pembaca dapat mencari resep atau rekomendasi untuk memecahkan suatu masalah tertentu dengan cepat dan mudah. Namun sebaliknya, pembaca akan diajak untuk menganalisis permasalahan yang dihadapinya secara mendasar kemudian menyusun sendiri alternatif pemecahannya. Buku ini memang ditujukan sebagai pedoman atau penuntun bagi pembaca untuk melakukan analisis permasalahan secara mendasar, sehingga pada akhirnya pembaca dapat menentukan sendiri cara-cara pemecahan yang sesuai dengan situasi dan kondisi yang dihadapi di lapangan. Oleh karena itu dalam buku ini disajikan contoh-contoh yang agak rinci seperti penyajian tabel-tabel, gambar-gambar, grafik, hitungan, kasus-kasus dan sebagainya dengan maksud agar dapat ditiru oleh pembaca yang memerlukannya. Bab-bab yang ditulis seharusnya digunakan untuk mengantarkan

pembaca dalam memahami berbagai aspek yang perlu diperhatikan dalam pengelolaan lahan kering secara biologi.

Walaupun dalam Buku Pedoman ini disajikan bahan-bahan pemikiran khusus untuk melakukan pengelolaan tanah secara biologi pada tanah masam di daerah tropika basah, namun berdasarkan pengalaman para penulis ternyata berbagai konsep dapat pula dipergunakan pada lahan tadah hujan yang lain.

1.6 Sasaran: pengguna buku pedoman

Buku ini ditulis dengan tujuan untuk dipakai sebagai pedoman atau rujukan oleh para praktisi lapangan, seperti tenaga penyuluh, tenaga pendamping, tenaga pembina dan pengambil kebijakan pertanian lokal, demikian pula untuk mahasiswa dan guru atau pengajar pertanian, serta tidak menutup kemungkinan adalah untuk para petani sendiri. Untuk bisa memanfaatkan Buku Pedoman ini, para pembaca dituntut untuk mau berfikir dan berkreasi sendiri, karena buku ini ***tidak dirancang untuk menyediakan resep***, model atau rakitan teknologi yang langsung dapat diterapkan pada berbagai lahan, namun mengajak pembaca untuk melatih diri dalam memahami petani dalam memecahkan permasalahan usaha taninya, mengenali sifat dan ciri lahan yang dikelolanya dan mencarikan jalan keluar suatu teknologi untuk menuju pertanian berkelanjutan. Buku ini membantu para pelaku pertanian agar lebih memahami komponen-komponen teknologi dan keterkaitan berbagai faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pengembangan lahan kering di daerah tropika basah secara berkelanjutan. Dengan demikian pembaca dituntut untuk mengambil suatu keputusan yang tepat untuk pengelolaannya.

1.7 Sistematika penyajian buku pedoman

Buku pedoman ini terdiri dari tujuh bab, yang diawali dengan penjelasan tentang latar belakang dan konsep pendekatan yang dipakai dalam Buku Pedoman ini serta tujuan, sasaran dan sistematika penyajiannya. Ketujuh bab yang disajikan ini saling terkait satu dengan yang lain, dan para pembaca diharapkan bisa membaca secara cepat keseluruhan isi buku ini sebelum mencoba memahami setiap bagian. Dalam Bab 2 disajikan rekaman pandangan petani yang bisa dipahami oleh para penulis. Hal ini dianggap sangat penting karena melandasi kita dalam melihat berbagai perilaku yang tercermin dalam praktek usaha tani untuk memenuhi kebutuhan hidupnya di tanah masam. Dalam praktek usaha taninya, petani dihadapkan pada kendala biofisik, sosial, ekonomi, budaya, kebijakan dan sebagainya. Belajar dari pengalaman tersebut, petani selalu mencoba mencari pemecahan masalah yang dihadapinya dengan pertimbangan rencana masa depan dan risiko yang sekecil-kecilnya.

Bab 3 memaparkan pengalaman pengkajian masalah biofisik di tanah masam, ditinjau dari kacamata peneliti untuk menjelaskan pandangan dan persepsi

petani. Dari kajian permasalahan tersebut dilanjutkan dengan pemaparan upaya pemecahan masalah untuk menuju pertanian yang berkelanjutan dengan ulasan-ulasan pengelolaan tanah secara biologi sebagai fokus utama yang disajikan di Bab 4. Sementara dalam Bab 5 dipaparkan berbagai aspek dari sistem agroforestri yang seringkali masih belum banyak diungkap secara tuntas, walaupun sistem ini telah dilakukan oleh petani selama berabad-abad. Praktek agroforestri di lapangan sangat beragam dan disisi lain untuk mengevaluasi manfaat sistem agroforestri di lapangan memerlukan waktu yang lama, biaya dan tenaga yang besar. Untuk itu agar dalam mengevaluasi penerapan sistem agroforestri lebih efisien dan ekonomis, Bab 6 memperkenalkan model WaNuLCAS (Water, Nutrient, and Light Capture in Agroforestry Systems) sebagai alat diagnose. Mengingat bahwa semua rancangan pengelolaan tanah pada akhirnya diperuntukan bagi petani, maka dalam buku pedoman ini diakhiri dengan Bab 7 yang menyajikan secara singkat metode atau teknik-teknik untuk memahami petani.

2 Pandangan petani: praktek usaha tani di tanah masam

2.1 Pengantar

Dahulu, pada waktu jumlah penduduk di Lampung masih sedikit lahan di kawasan ini dapat dikatakan sangat berlimpah, sehingga petani atau peladang sangat leluasa memilih dan menggunakan lahan yang subur. Pembukaan hutan untuk lahan pertanian masih bisa dilakukan secara bebas oleh petani (peladang). Setelah diusahakan selama beberapa tahun produksi tanaman tidak sebaik tahun-tahun pertama karena tanah menjadi tidak subur lagi. Lahan ini segera ditinggalkan begitu saja dan petani membuka lahan hutan ditempat lain untuk lahan pertanian, yang mungkin suatu saat akan kembali ke lahan semula. Demikian seterusnya terjadilah apa yang dinamakan sistem pertanian berpindah atau *shifting cultivation*.

Meningkatnya jumlah penduduk, menyebabkan semakin banyaknya praktek semacam ini sehingga lahan hutan yang dapat dibuka untuk pertanian menjadi semakin terbatas. Di sisi lain, sebagian besar hutan juga sudah dikuasai oleh pemegang hak pengelolaan hutan atau negara, sementara lahan pertanian yang subur juga banyak yang beralih fungsi untuk industri dan pemukiman. Seiring dengan kejadian di atas, terjadi pemindahan penduduk dari Pulau Jawa ke Lampung dan daerah-daerah lain di luar Jawa melalui program transmigrasi. Meningkatnya tekanan penduduk bersamaan dengan menyempitnya lahan yang tersedia menyebabkan petani/peladang tidak bebas lagi memilih lahan yang akan diusahakan sesuai dengan keinginannya. Para petani/peladang tersebut terpaksa harus mengusahakan tanah secara menetap, di mana kualitasnya semakin lama semakin menurun. Demikian pula untuk pemukiman transmigrasi terpaksa dipilih lahan-lahan marginal yang memiliki berbagai kendala bila digunakan untuk pertanian, salah satunya adalah tanah yang bereaksi masam.

Banyaknya kendala sehubungan dengan kualitas lahan misalnya kesuburan tanah, cuaca, hama-penyakit maupun kendala sosial-ekonomi seperti pemasaran dan sebagainya menyebabkan petani harus menyesuaikan usaha taninya dengan situasi yang ada. Jenis-jenis tanaman yang dapat diusahakan pada kondisi marginal itu juga terbatas, sehingga ruang gerak petani untuk memilih alternatif usaha tani semakin sempit. Seiring dengan berjalannya waktu, petani terus berusaha mencari pemecahan masalah-masalah yang dihadapinya dengan cara coba-coba (*trial and error*). Praktek ini menghasilkan pengetahuan lokal (*indigenous local knowledge*) yang sangat spesifik lokasi. Namun karena praktek pertanian menetap belum terlalu lama, maka pengetahuan lokal ini masih belum mantap dan mengakar dibandingkan seperti petani di Pulau Jawa. Lebih-lebih bagi petani

transmigran yang berasal dari daerah lain (P. Jawa), ternyata pengaruh pengetahuan yang dibawa dari daerah asalnya masih sangat kuat.

Pengetahuan dan pengalaman petani membentuk suatu pemahaman yang sangat kuat terpatri dalam pikiran yang diterapkan kehidupan sehari-hari termasuk praktek usaha taninya. Teknologi baru yang merupakan hasil temuan para peneliti pada umumnya belum teruji dan terbukti dihadapan petani sehingga tidak mudah diterima untuk diterapkan. Oleh sebab itu seiring dengan upaya mengenalkan teknologi baru ini para penyuluh atau pembina harus memahami betul apa yang menjadi pola pikir para petani yang telah terwujud dalam praktek pertanian sehari-hari. Seringkali para pakar teknologi pertanian kurang bisa melihat dan memahami sosok petani dan keluarganya secara obyektif, karena penguasaan ilmu sosial yang kurang memadai. Uraian ini ditulis berdasarkan pengalaman lapangan penulis selama bertahun-tahun bekerja bersama-sama petani, untuk membantu para praktisi agar lebih memahami dan mengenal petani secara obyektif sehingga mampu menempatkan diri secara tepat dalam rangka memberdayakan mereka. Bab ini sengaja diletakkan dibagian awal, dengan maksud agar para pembaca Buku Pedoman “Pengelolaan Tanah Masam di Daerah Tropika Basah” selalu menempatkan petani sebagai pelaku utama dalam setiap pembahasan masalah-masalah teknis yang dikemukakan dalam bab-bab berikutnya. Para petani itu sendiri yang akan memilih teknologi yang ditawarkan karena akhirnya mereka juga yang akan menikmati hasilnya atau justru menanggung risiko kegagalannya, bukan orang lain seperti penyuluh apalagi peneliti.

2.2 Memahami kebutuhan hidup petani

2.2.1 Apa yang dibutuhkan?

Kebutuhan dasar sebuah rumah tangga secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu (1) kebutuhan pokok yakni *pangan* (makanan), *sandang* (pakaian) dan *papan* (tempat tinggal = rumah), dan (2) kebutuhan lain-lain seperti pendidikan, kesehatan dan hiburan. Petani merupakan bagian dari kelompok masyarakat yang memiliki ciri-ciri khas sehingga seringkali dibedakan dari kelompok masyarakat yang lain. Namun kelompok petani juga memiliki kebutuhan yang tidak berbeda dari kelompok lainnya. Petani juga melakukan upaya-upaya untuk memenuhi apa saja yang menjadi kebutuhan hidupnya tersebut.

Berikut ini dipaparkan usaha-usaha yang dilakukan petani dalam memenuhi kebutuhan rumah-tangganya.

- **Keperluan pangan.** Makanan pokok sebagian besar penduduk (petani) Indonesia adalah beras. Jika tidak ada beras, biasanya digantikan oleh jagung dan ubi kayu. Urutan *preferensi* makanan pokok adalah beras, jagung dan baru kemudian ubi kayu. Jenis makanan

pokok yang dikonsumsi sering dapat digunakan sebagai indikator status sosial ekonomi rumah-tangga petani. Bagi petani, kebutuhan bahan makanan pokok ini dapat dipenuhi dari usahataniya sendiri atau dengan cara membelinya dari hasil penjualan tanaman komersial dan/atau dari penghasilan tunai yang berasal dari kegiatan di luar sektor pertanian. Kebutuhan mineral dan vitamin berasal dari sayur-sayuran dan buah-buahan umumnya diperoleh dari tanaman semusim ataupun tahunan yang diusahakan di sekitar rumahnya. Banyak petani yang mengusahakan tanaman untuk memenuhi makanan pokok di lahannya sendiri (*petani subsisten*).

- **Keperluan sandang.** Kebutuhan sandang tidak diproduksi sendiri melainkan harus dibeli. Petani perlu menyisihkan sebagian penghasilan yang diperoleh dari usaha tani atau usaha lain di luar pertanian untuk membeli pakaian bagi keluarganya.
- **Papan.** Dalam melihat perkembangan pemenuhan papan, maka pengalaman para transmigran dapat dipakai sebagai bahan pelajaran bersama. Pada saat ditempatkan, sudah disediakan rumah sederhana bagi mereka atau paling tidak disediakan bahan bangunan untuk membangun rumah. Pada saat itu kayu bahan bangunan masih mudah didapat dari hutan-hutan yang ada. Sesuai dengan perkembangan waktu, kondisi rumah kayu mereka sudah mulai memerlukan perbaikan. Bagi mereka yang memiliki cukup uang/dana dapat membangun rumah-rumah baru dari tembok, sedangkan yang dananya pas-pasan hanya bisa memperbaiki dengan bahan-bahan yang lebih murah dan mudah didapatkan. Dengan demikian mulai tampak keberagaman jenis rumah di kawasan yang tadinya seragam itu. Munculnya bangunan-bangunan baru bisa digunakan sebagai indikator keberhasilan usaha mereka, mungkin dari usaha tani atau usaha di luar pertanian (*off-farm*). Menipisnya hutan serta adanya kebutuhan kayu bangunan untuk memperbaiki dan/atau membuat rumah baru menyebabkan pergeseran keseimbangan pasokan dan permintaan sehingga menciptakan pasar kayu. Adanya pasar kayu dan harga yang “baik” mendorong para petani untuk mulai menanam pepohonan (kayu) di lahannya.

2.2.2 Bagaimana usaha pemenuhan kebutuhan?

Karena tempat tinggal yang agak sulit dijangkau transportasi, petani biasanya memenuhi kebutuhannya dengan mengusahakan lahan yang dimilikinya. Apabila hasil usahatani dari lahannya sendiri tidak dapat mencukupi kebutuhan pokoknya, maka mereka berusaha memenuhinya dengan bekerja di luar sektor pertanian. Pendapatan tunai diperlukan untuk membeli bahan-bahan yang tidak mungkin diproduksi sendiri (minyak, garam, sandang) dan untuk keperluan yang harus dibayar tunai seperti pajak, uang sekolah dan kewajiban

lainnya. Oleh karena pendapatan dari usaha tani bersifat musiman, maka diperlukan usaha-usaha lain yang dapat memberikan penghasilan tunai sewaktu-waktu. Walaupun pendapatan tunai yang rutin bisa diperoleh dari usaha tani yang diatur sedemikian, tetapi kebanyakan dan lebih mudah diperoleh dari usaha di luar pertanian (*off-farm*).

- Usaha pertanian

Petani memanfaatkan hasil pertaniannya untuk memenuhi kebutuhan pokok mereka, baik secara langsung maupun tidak langsung. Produk pertanian yang dapat dinikmati langsung misalnya, hasil palawija, sayur-sayuran, buah-buahan, dan kayu bakar. Petani juga dapat menjual hasil pertanian untuk memenuhi kebutuhan mereka yang lain. Adanya penetrasi ekonomi uang ke dalam masyarakat agraris tidak memungkinkan untuk menjadi petani subsisten murni. Untuk memenuhi kebutuhan yang beragam tersebut petani biasanya menanam berbagai jenis tanaman pangan dan/atau berbagai jenis tanaman pohon. Pemilihan jenis tanaman yang ditanam akan sangat ditentukan selain oleh apa yang dibutuhkan juga mempertimbangkan aspek kesesuaian lahan (biofisik) yang dikuasainya serta faktor pembatas sosial ekonomi yang dihadapinya.

- Pekerjaan di luar sektor pertanian.

Walaupun sebagian besar kebutuhan keluarga petani mungkin bisa dipenuhi dari hasil usahatani, petani masih memerlukan penghasilan tunai yang tidak bisa menunggu sampai musim panen tiba. Penghasilan ini lebih sering diperoleh dari usaha lain bukan-pertanian (*non-farm*). Jenis pekerjaan yang paling mudah menghasilkan tunai adalah menjual tenaga dibidang pertanian misalnya sebagai buruh-tani. Jenis pekerjaan lain yang bisa dijumpai di kawasan pertanian adalah pedagang, usaha transportasi (sopir), tenaga kasar (kuli) dan tenaga terampil (tukang), karyawan swasta atau pemerintah, dan sebagainya. Seringkali dijumpai petani yang merangkap sebagai pekerja non-pertanian tertentu, misalnya sopir, pedagang dan pegawai, ternyata memiliki tingkat penghasilan yang lebih baik daripada menjadi petani saja. Mereka memiliki kelebihan dibanding petani murni, misalnya akses terhadap pasar dan informasi, ketahanan terhadap risiko kegagalan usaha tani dan sebagainya. Para petani campuran itu ternyata bisa menjalankan usaha taninya dengan lebih efisien, sehingga usaha taninya cepat berkembang.

Contoh Kasus 2.1

Pengalaman petani transmigran di Pakuan Ratu

Hasil penelitian terhadap petani transmigran di beberapa desa di kawasan Pakuan Ratu menunjukkan bahwa mereka memerlukan pendapatan kontan untuk membiayai berbagai kebutuhan hidupnya. Mereka beruntung, karena di kawasan ini terdapat perkebunan tebu PTPN VII Unit Usaha Bunga Mayang, yang dapat menampung tenaga kerja dalam jumlah cukup besar. Namun demikian, karena beberapa alasan ada sebagian kecil yang lebih suka menjadi buruh tani pada petani lain yang memiliki lahan lebih luas di desa-desa sekitarnya.

Produktivitas lahan sendiri yang rendah, adanya masalah/sengketa tanah dan kebutuhan untuk mendapat dana tunai memaksa petani di desa Negara Jaya dan Tegalmukti (Pakuan Ratu) untuk lebih berkonsentrasi pada kegiatan buruh upahan dan mengabaikan kegiatan usaha taninya. Karena adanya kebutuhan yang sangat mendesak atau alasan-alasan lain beberapa petani bahkan menjual lahan “jatahnya”. Survei terakhir menunjukkan adanya gejala pengutuban (*polarisasi*) luasan kepemilikan lahan. Beberapa petani (transmigran) sudah ada yang memiliki lahan lebih dari 15 ha bahkan sudah ada yang memiliki 35 ha. Petani yang memiliki lahan luas ini pada umumnya memiliki usaha lain diluar sektor pertanian (non-farm), hanya sedikit saja yang benar-benar berkembang dari usaha tani saja. Adanya komersialisasi usahatani dari petani yang berlahan luas tersebut pada gilirannya juga menciptakan permintaan tenaga kerja upahan di kawasan ini.

- Sumber pendapatan di masa tua (jaminan pensiun)

Untuk menjamin keberlangsungan rumah-tangganya di masa tua, setiap orang memerlukan sumber pendapatan yang pasti. Jika sumber pendapatan tersebut dari usaha tani, maka petani menyebutnya dengan tanaman untuk jaminan pensiun (tanaman pensiun). Bagi kebanyakan petani di lahan tadah hujan, jaminan pensiun umumnya berupa tanaman tahunan komersial yang dapat diambil produksinya secara kontinyu. Adanya tanaman pensiun ini membuat mereka lebih percaya diri karena di masa tua mereka tidak harus tergantung pada orang lain termasuk anak-anaknya sendiri. Mengingat keterbatasan tenaga dan kekuatan fisik yang semakin menurun, mereka cenderung memilih tanaman tahunan yang tidak memerlukan pemeliharaan intensif dan berat, namun bisa memberikan pendapatan yang kontinyu. Dengan alasan tersebut dan didorong oleh adanya pasar dan sentra-sentra produksi di sekitarnya, petani di Pakuan Ratu cenderung memilih karet dan kelapa sawit sebagai tanaman pensiun. Adanya ruangan kosong di antara tanaman tersebut pada saat belum berproduksi dapat ditanami tanaman sela biasanya palawija, yang dapat memberikan pendapatan selama menunggu tanaman tahunan berproduksi dan dapat mencegah tumbuhnya alang-alang yang mudah terbakar di musim kemarau. Salah satu contoh pola tanam yang umum dijumpai di Pakuan Ratu adalah lahan ditanami karet ditumpangсарikan dengan pisang, pepaya, dan palawija (Gambar 2.1).

Karet di sini merupakan tabungan untuk masa tua, sedangkan pisang dan palawija untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari.



Gambar 2.1 Tumpangsari karet dengan pisang, dan tanaman lain untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Karet merupakan tabungan petani untuk masa pensiun (Foto: Kurniatun Hairiah)

2.2.3 Prioritas kebutuhan

Prioritas kebutuhan petani pada umumnya dapat dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu kebutuhan jangka pendek, kebutuhan jangka menengah dan kebutuhan jangka panjang. Penelitian Elmhirst (1996) di kawasan Pakuan Ratu menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

- Kebutuhan jangka pendek mencakup jaminan akan kecukupan kebutuhan pangan sehari-hari untuk rumahtangga petani. Untuk petani yang mengusahakan pertanian lahan kering (tadah hujan – non sawah), hasil dari lahan mereka seringkali tidak mencukupi untuk kebutuhan sehari-hari. Bekerja di luar lahan sendiri merupakan jalan terbaik untuk memperoleh tambahan penghasilan. Namun bagi sebagian besar petani, penghasilan tersebut masih terlalu rendah, sehingga tidak mampu mengentaskan mereka dari kesulitan pemenuhan kebutuhan hidup.
- Prioritas pemenuhan kebutuhan jangka menengah adalah misalnya menanamkan modal (investasi) dalam usaha tanaman perkebunan (misalnya karet atau kelapa sawit) atau usaha peternakan. Namun, seringkali keperluan investasi jangka mencegah ini dikalahkan oleh keperluan pembiayaan sekolah anak-anak mereka (prioritas jangka panjang).

- Prioritas kebutuhan jangka panjang umumnya ditujukan pada persiapan kehidupan di masa tua dan untuk anak-anaknya agar nantinya dapat hidup mandiri. Penyiapan anak-anak dimulai dengan menyekolahkan mereka dan melatih anak-anak itu untuk bertani atau ketrampilan lain. Lebih jauh banyak orang tua menyiapkan lahan baik untuk rumah dan untuk keperluan usaha tani bagi anak-anaknya bila mereka sudah menikah dan berumah-tangga sendiri. Kebanyakan petani menginginkan anak mereka juga memiliki pekerjaan di luar sektor pertanian, karena mereka menyadari bahwa pertanian saja tidak dapat memenuhi kebutuhan hidup. Mereka berharap tingkat kehidupan anak-anaknya nantinya lebih baik daripada kehidupannya. Bekerja di luar sektor pertanian, seperti di pabrik atau menjadi pegawai pemerintah, diharapkan memberikan kehidupan yang lebih baik. Banyak petani yang berkorban bekerja keras atau bahkan menjual sebagian lahan mereka untuk membiayai pendidikan anak mereka sampai sekolah menengah atas.

Contoh Kasus 2.2

Kebutuhan keluarga petani di Pakuan Ratu

Dari hasil wawancara mendalam (*indepth-interview*) yang dilakukan terhadap beberapa keluarga petani di Pakuan Ratu ternyata dapat diperoleh peta kebutuhan yang mendesak bagi keluarga petani. Setiap keluarga petani memiliki urutan prioritas kebutuhan yang berbeda-beda, namun kebanyakan sangat tergantung dari stadia perkembangan keluarga tersebut. Stadia perkembangan keluarga ini berhubungan erat sekali dengan pemilihan prioritas jangka pendek sampai jangka panjang.

Kebutuhan Jangka Pendek	Kebutuhan Jangka Menengah	Kebutuhan Jangka Panjang
Makanan untuk sehari-hari		
Pakaian	Pakaian	
Biaya Perawatan Kesehatan	Biaya Perawatan Kesehatan	
	Biaya Pendidikan Anak-anak	Biaya Pendidikan Anak-anak
Sarana Produksi Usaha Tani	Sarana Produksi Usaha Tani	
	Perbaikan Rumah	Perbaikan Rumah
	Penanaman Modal Usaha Peternakan, Perkebunan, dsb.	Penanaman Modal Usaha Peternakan, Perkebunan, dsb
	Kendaraan untuk Pengangkutan	Kendaraan Bermotor
		Menyediakan tanah/rumah untuk tempat tinggal anak-anaknya

Seperti diuraikan di atas, walaupun usahatani hanya merupakan salah satu aktivitas yang dilakukan oleh petani dalam usaha memenuhi kebutuhan hidup keluarganya, namun usahatani masih tetap menjadi tulang punggung kebanyakan petani di Lampung. Apa yang mereka butuhkan, apa yang dapat diproduksi sendiri dan apa yang harus dibeli akan sangat menentukan jenis usahatani yang akan diterapkan petani. Usahatani yang ada merupakan cerminan penggunaan peluang dengan memperhatikan kendala dan hambatan yang ada.

2.3 Kendala pemenuhan kebutuhan hidup petani

Dalam upaya untuk memenuhi kebutuhan hidupnya, petani menghadapi berbagai masalah dan hambatan, baik yang bersifat biofisik maupun sosial ekonomis. Setiap rumah-tangga mempunyai potensi dan keterbatasan, serta harus menghadapi hambatan dan kendala yang mungkin berbeda. Kepandaian dan pengalaman dalam melihat peluang, memanfaatkan potensi, menyasiasi kendala dan mengatasi hambatan serta keberanian mengambil keputusan dan tindakan akan sangat menentukan keberhasilan sebuah rumah-tangga.

2.3.1 Permasalahan biofisik

a. Iklim

Permasalahan yang berkaitan dengan iklim khususnya berhubungan dengan hujan, pada umumnya adalah: tidak menentukannya permulaan musim hujan, adanya jeda hujan (*petatan*) yang kadang-kadang cukup panjang di musim penghujan, musim penghujan yang terlalu basah dan musim kemarau yang terlalu lama pada tahun-tahun tertentu serta kekeringan yang tidak dapat diramalkan.

Pemanfaatan dan produktivitas lahan tadah hujan yang merupakan lahan andalan sebagian besar petani sangat tergantung dari pola curah hujan. Kondisi iklim yang sangat sulit ditaksir ini menyebabkan semakin besarnya risiko kerugian yang harus ditanggung petani.

b. Tanah

Petani menyadari bahwa kesuburan tanah pertanian mereka makin lama makin menurun. Hal ini dapat dilihat dari hasil tanaman pangan yang semakin menurun dari tahun ke tahun. Untuk mendapatkan hasil setara dengan musim tanam sebelumnya diperlukan pupuk yang semakin banyak. Pencapaian hasil yang setara dengan tingkat hasil pertama kali lahan diusahakan (tahun pertama dibuka) hampir mustahil. Pengalaman mereka memperlihatkan semakin sedikitnya pilihan jenis tanaman yang mampu tumbuh baik dan layak diusahakan di lahan pertanian mereka. Tanaman yang dapat hidup cukup baik, hanya ubikayu, namun ternyata hasil ubikayupun semakin merosot.

Penurunan kandungan bahan organik menyebabkan kemampuan tanah menahan air semakin rendah dan menurut pengalaman petani tanah itu cepat

menjadi kering bila tidak hujan beberapa hari saja, sehingga tanaman sering menderita kekeringan. Sebaliknya, air berlebih di saat hujan mengakibatkan terjadinya aliran permukaan dan erosi yang cukup besar. Erosi menyebabkan lapisan olah tanah semakin dangkal. Kejadian tersebut sangatlah ironis kekeringan pada saat kemarau, banjir lokal dan erosi pada saat musim penghujan. Jika proses ini dibiarkan tanpa adanya pengelolaan tanah yang memadai, maka akan tercapai kondisi akhir di mana lapisan krosos muncul di permukaan tanah.

Contoh Kasus 2.3. PERSEPSI PETANI PAKUAN RATU TERHADAP TANAHNYA

Beberapa sifat tanah diyakini oleh petani menjadi pembatas pertumbuhan dan produksi pertanian misalnya : penurunan kandungan bahan organik dan unsur hara tanah, adanya lapisan kerikil, dan menurunnya kemampuan menahan air. Beberapa ungkapan petani seperti kekurangan “*vitamin*” adanya “*krokos*” dan tanah *menjadi panas* sebenarnya mencerminkan sifat-sifat tanah tadi. Menurut petani, tanah yang diusahakan semakin lama semakin terang warnanya, padahal tanaman tumbuh lebih baik di tanah yang berwarna gelap. Tanah gelap (*hitam*) adalah tanah yang lebih subur dan *dingin*, yang dikaitkan dengan kemampuan menahan air yang tinggi karena tidak cepat panas. Tanah hitam itu biasanya lebih gembur dan mudah diolah. Adanya lapisan *krokos* sangat membatasi pertumbuhan tanaman. Di beberapa tempat, terutama di daerah yang lerengnya sangat curam, lapisan krosos ini sudah mencapai lapisan permukaan tanah (Bhs. Jawa. *plethes*).

Pengalaman petani (transmigran) di Pakuan Ratu telah dapat menyimpulkan pengelompokan tanah yang berdasarkan kesesuaian untuk penanaman jenis-jenis tanaman tertentu. Pengalaman itu disampaikan dengan bahasa yang sederhana dan berikut ini diterjemahkan kedalam parameter kesuburan tanah secara ilmiah. Namun, ada beberapa bagian yang sulit dijelaskan dengan tepat.

Tabel 2.1. Parameter Kesuburan Tanah dihubungkan dengan Persepsi Petani di Pakuan Ratu

PARAMETER	Sangat Subur	Subur	Kurang Subur	Tidak Subur
Warna	Hitam	Merah-kehitaman	Merah	Kuning pucat
Bentuk Lahan	Datar	Datar	Miring	Miring - curam
Bahan Organik	> 2 %	0,4 - 2 %	0,2 - 0,4 %	< 0,2 %
Keracunan Al & Fe	Sangat kecil	Kecil	15- 50 %	> 50 %
Tekstur	Pasir berlempung	Pasir berlempung	Pasir, Liat, Krokos	Pasir, Liat, Krecek
Konsistensi Lembab	Tidak Lekat	Agak Lekat	Lekat	Lekat
Konsistensi Kering	Sangat Gembur	Gembur	Keras	Keras (<i>plethes</i>)
Daya Menahan Air	Besar	Besar	Kecil	Kecil
Permeabilitas	Cepat	Cepat	Cepat	Lambat (tergenang)
Suhu Tanah / kering	Dingin = lembab	Agak lembab	Panas = kering	Panas = kering
Daya Olah Tanah	Gampang diolah	Agak sulit	Sukar diolah	Sukar diolah
Perakaran	Banyak	Sedang	Sedikit - tidak ada	Sedikit - tidak ada
Daya Tumbuh Tan.	Semua bisa tumbuh	Semua bisa tumbuh	<i>Mentru & petaian</i>	<i>mentru & petaian</i>

c. Hama dan penyakit tanaman

Perubahan vegetasi yang terlalu cepat akibat dari perubahan peruntukan lahan dari hutan menjadi pertanian menetap dengan skala luas menyebabkan terganggunya keseimbangan alam yang sudah tercapai. Karena habitatnya terganggu beberapa binatang hutan seperti gajah, babi hutan, kerbau, dan monyet menjadi binatang pengganggu (hama) bagi tanaman yang diusahakan petani dan perkebunan. Untuk mengatasi permasalahan yang timbul di awal pembukaan lahan tersebut telah ada program pemindahan hewan tadi ke habitat aslinya diluar kawasan pertanian yang baru dibuka tersebut.

Perubahan keseimbangan alam yang terlalu cepat tersebut masih terus berdampak seperti yang dialami petani akhir-akhir ini yakni peledakan populasi belalang yang menghabiskan beberapa jenis tanaman pertanian yaitu padi, jagung dan kacang tanah. Sedangkan tanaman ubikayu yang pahit dan beracun (karena HCN) tidak diganggu oleh belalang tersebut. Hal ini merupakan salah satu alasan mengapa pada akhir-akhir ini jarang sekali diketemukan tanaman jagung dan banyak diketemukan tanaman ubikayu.

d. Alang-alang

Pengikisan lapisan permukaan tanah menyebabkan kehilangan lapisan yang subur dan kaya bahan organik sehingga yang tertinggal hanyalah lapisan bawah yang miskin hara dan bahkan mungkin berupa kerikil (krokos). Kalau sudah mencapai stadia ini hanya alang-alang yang mampu tumbuh walaupun dalam kondisi yang merana. Hamparan alang-alang pada tanah miring dan/atau tanah terlantar dapat dijumpai di kawasan Pakuan Ratu. Lahan yang tidak ditanami atau dibiarkan terbuka (bera) biasanya dengan cepat ditumbuhi alang-alang. Jika alang-alang sudah tumbuh maka sulit diberantas. Untuk memulihkan kondisi seperti semula diperlukan waktu puluhan bahkan ratusan tahun jika digunakan proses suksesi alami yang dimulai dengan tumbuhnya tanaman pioner setempat sampai terbentuknya hutan sekunder kembali. Selain itu alang-alang juga sangat mudah terbakar pada musim kemarau yang kering.

2.3.2 Permasalahan sosial-ekonomi

Berbeda dengan permasalahan biofisik yang sebagian besar masih dapat dikendalikan petani, permasalahan sosial ekonomi umumnya diluar jangkauan dan kemampuan mereka. Permasalahan sosial ekonomi tersebut di antaranya adalah : fluktuasi harga jual produk pertanian yang tinggi (murah saat panen dan mahal di luar musim panen), posisi tawar yang lemah dalam pembentukan harga jual produk pertanian dan konflik kepemilikan lahan antara pendatang dengan penduduk asli setempat. Posisi tawar yang rendah menyebabkan mereka menjadi obyek permainan para pedagang ataupun pabrik pengolah hasil pertanian mereka. Persekutuan pedagang dengan pabrik pembeli produk hasil pertanian mereka cenderung menciptakan semacam monopoli. Terbatasnya prasarana transportasi

menyebabkan tingginya biaya pengangkutan yang pada gilirannya menjadikan semakin rendahnya laba atau keuntungan yang didapat petani.

Konflik status kepemilikan tanah antar penduduk menyebabkan sangat tingginya risiko untuk mengusahakan tanaman tahunan (pepohonan). Mengingat investasi tanaman pepohonan memerlukan modal besar dan untuk jangka panjang maka diperlukan kepastian status kepemilikan lahan. Seringkali karena sifatnya, tanaman pepohonan sendiri merupakan bukti status kepemilikan lahan di mana tanaman tersebut tumbuh.

Kebakaran termasuk salah satu masalah yang sering mengancam di kawasan tanah masam, terutama pada musim kemarau yang panjang. Kebakaran terutama bersumber pada alang-alang kering ataupun seresah dedaunan yang kering dan sukar dilapuk. Sumber api kebakaran seringkali sulit dilacak. Salah satu sumber api kebakaran adalah percikan api yang berasal dari teknik pembukaan lahan (belukar ataupun padang alang-alang) dengan cara pembakaran yang kurang terkontrol. Sumber api kebakaran lainnya, adalah usaha dengan sengaja menimbulkkan kebakaran untuk merugikan pihak (petani) lain, sebagai salah satu pemicunya diduga masalah sengketa status kepemilikan lahan. Karena itu kebakaran cenderung dianggap sebagai masalah sosial dari pada masalah biofisik.

2.4 Pemecahan masalah

Cara pandang manusia terhadap masalah yang dihadapi serta usaha yang dilakukan untuk memecahkannya sangat dipengaruhi oleh pengalaman sejarah yang telah dialami selama bertahun-tahun dan bahkan secara turun-temurun. Penelitian yang dilakukan Elmhirst (1996) memperlihatkan perbedaan yang mendasar antara petani transmigran yang berasal dari Jawa dan petani Lampung asli dalam menyikapi permasalahan biofisik lahan pertanian di Lampung. Petani Lampung asli cenderung meninggalkan lahan yang sudah tidak subur, untuk mencari lahan alternatif yang masih menguntungkan mereka. Mereka lebih suka mencari pekerjaan di luar sektor pertanian daripada harus menanamkan investasi yang relatif mahal untuk memanipulasi lahan yang tidak subur. Sedangkan petani transmigran yang berasal dari Jawa, cenderung berusaha menanggulangi masalah kesuburan tanahnya dengan cara mengelola lahannya secara lebih intensif, misalnya dengan pengolahan tanah dan teknik budidaya yang lebih baik (pemupukan, penyiangan secara manual ataupun menggunakan pestisida). Untuk melakukan usaha pengelolaan yang lebih intensif ini diperlukan tenaga dan modal kerja yang lebih besar. Upaya pemecahan masalah yang kedua inilah yang akan lebih banyak diuraikan di sini.

2.4.1 Teknik pengelolaan tanah

a. Jangka Pendek

Pemberian pupuk organik. Petani menyadari bahwa pemberian pupuk organik dapat meningkatkan kesuburan tanah. Menurut mereka, pengaruh pupuk organik dalam memperbaiki kesuburan tanah kurang spontan akan tetapi pengaruhnya lebih tahan lama. Sedangkan pupuk buatan pengaruhnya spontan akan tetapi hanya tahan beberapa minggu atau bulan. Meskipun mereka menyadari pentingnya pemberian bahan organik untuk menyuburkan tanah mereka jarang sekali yang menggunakannya, ataupun kalau menggunakan umumnya hanya terbatas pada tanaman diprioritaskan. Pupuk organik yang digunakan adalah pupuk hijau, kotoran ternak, bagas, dan sebagainya. Berdasarkan pengalaman bahwa pengusahaan tanaman semusim yang sebagian besar biomasanya tidak dikembalikan, lebih cepat menguras zat makanan yang ada di tanah, mereka mulai belajar mengembalikan sisa-sisa panen ke lahan. Biomasa sisa hasil panen tersebut umumnya berupa jerami padi, batang tanaman jagung dan kedelai. Mereka berpendapat bahwa pengusahaan tanaman pangan semusim secara berurutan selama tiga tahun menyebabkan tanah menjadi *cepat panas*. Mereka menyebutkan bahwa tanaman pangan yang banyak menguras zat makanan dalam tanah (Bhs. Jawa. *ngeret lemah*) adalah ubikayu, ketela rambat dan kacang tanah. Untuk mengurangi pengaruh ini, maka dalam pengusahaan tanaman tersebut sebaiknya dirotasikan dengan tanaman lain.

Pemberian pupuk kimia. Seperti yang telah diuraikan sebelumnya, petani menyadari bahwa mereka harus memberikan pemupukan dengan dosis yang selalu bertambah besar dari tahun ke tahun untuk mempertahankan produksi. Mereka sering menyebutkan bahwa tanpa pupuk kimia tanamannya tidak akan mampu menghasilkan, terkecuali ubikayu masih mampu dengan hasil umbi yang berukuran sangat kecil. Pupuk kimia yang diberikan adalah urea, ZA, TSP, dan KCl dengan takaran yang sangat beragam di antara petani. Permasalahan berkaitan dengan penggunaan pupuk kimia adalah kurangnya pemahaman petani kurang memahami takaran (dosis) dan waktu pemupukan yang tepat. Meskipun mereka mengetahui besarnya dosis anjuran dari petugas pertanian, namun seringkali mereka tidak bisa mengikutinya. Hal ini bisa terjadi karena keterbatasan dana untuk membeli pupuk sesuai jumlah anjuran dan/atau karena ketersediaan pupuk di pasaran sering tidak sesuai dengan kalender kebutuhan petani. Bahkan seringkali terjadi *salah sasaran*, di mana pupuk yang seharusnya diberikan pada tanaman tertentu (melalui kredit paket pupuk) terpaksa dijual ke pasar, karena adanya prioritas kebutuhan yang jauh lebih mendesak.

b. Jangka panjang

Pencegahan erosi. Pada dasarnya petani menyadari pentingnya pencegahan erosi di lahan mereka, terutama pada lahan yang curam. Beberapa usaha yang telah dicoba adalah dengan membuat guludan sejajar kontur atau menggunakan

batang pohon yang ditebang pada saat pembukaan lahan sebagai teras-teras (Gambar 2.2), akan tetapi karena intensitas curah hujan yang tinggi serta struktur tanah yang kurang mantap menyebabkan guludan tersebut mudah longsor. Sebagian petani ada yang membuat guludan tegak lurus arah kontur, sehingga air limpasan bisa mengalir lebih cepat. Cara ini memang bisa mengurangi kerusakan guludan dan mempercepat pematusan karena tanaman tertentu tidak menyukai tanah yang terlalu basah, tetapi pengikisan tanah (erosi) tetap terjadi.



Gambar 2.2 Pembukaan lahan pertanian yang dilakukan oleh petani Semendo dengan cara tebang bakar di daerah Lahat (Sumatera), batang pohon dipergunakan untuk membuat teras-teras untuk mencegah erosi. Lahan ditanami tanaman pangan dan kopi (Foto: Meine van Noordwijk)

Namun demikian, banyak dijumpai lahan-lahan pertanian di Pakuan Ratu yang tidak dikelola sesuai dengan teknik-teknik pengawetan tanah dan air. Beberapa petani menyebutkan keterbatasan dana dan tenaga sebagai penyebabnya. Ada pula yang menyatakan bahwa status kepemilikan lahan yang belum jelas menyebabkan mereka enggan menerapkan teknik pencegahan erosi yang memadai.

2.4.2 Pengaturan sistem tanam

Pemberaan. Untuk mempertahankan kesuburan tanah, petani memberakan lahan [Bahasa Jawa: *bera*] atau membiarkan semak belukar tumbuh di lahan yang telah diusahakan beberapa musim. Menurut mereka, tanaman akan tumbuh lebih baik pada lahan yang sebelumnya diberakan. Bera dengan hanya mengandalkan suksesi alami memerlukan waktu lebih lama untuk mengembalikan kesuburan tanah. Pemberaan hanya dapat diterapkan apabila petani memiliki lahan yang cukup luas, sehingga pada saat sebagian lahan tersebut diberakan masih ada lahan lain yang masih bisa ditanami. Selama periode bera lahan juga tidak memberikan

kontribusi ekonomis yang cukup berarti bagi pemiliknya, sehingga pembeeraan dimungkinkan jika petani memiliki penghasilan dari sektor lain di luar pertanian.

Tumpanggilir. Petani menyadari penurunan tingkat kesuburan tanah, jika ditanami ubikayu terus-menerus. Mereka merasakan bahwa hasil ubikayu dari tahun ke tahun semakin sedikit jumlahnya. Bila ingin mendapat jumlah hasil panen yang sama harus ditambahkan pupuk yang jumlahnya makin banyak. Pengalaman beberapa orang petani di Pakuan Ratu menunjukkan bahwa pengusahaan satu jenis tanaman semusim saja selama tiga tahun berturut-turut menyebabkan tanah menjadi “*kurus*” dan “*cepat panas*”. Menurut pengamatan petani, jenis tanaman pangan yang banyak menguras zat makanan dalam tanah [Bhs.Jawa : *ngeret lemah*] adalah ubikayu, ketela rambat dan kacang tanah. Untuk mengurangi pengaruh ini petani merotasikan tanaman tersebut dengan tanaman lain (pergiliran). Sayangnya, beberapa tanaman rotasi (misalnya jagung) tidak ditanam lagi, karena adanya serangan hama belalang.

Tumpangsari. Beberapa petani juga melakukan tumpangsari di lahan mereka. Pada umumnya dasar keputusan petani untuk memilih sistem tumpangsari adalah karena alasan ekonomi, bukannya kesadaran untuk mempertahankan kesuburan tanah. Misalnya pendapatan petani dari hasil tumpangsari jagung dan padi ternyata lebih besar dari hasil jagung atau padi monokultur.

2.4.3 Pemilihan Jenis tanaman

Tanaman semusim. Pemilihan jenis tanaman yang diusahakan oleh petani tergantung dari banyak faktor, di antaranya adalah tanah, iklim, dan sosial ekonomi. Rendahnya kesuburan tanah, ketidakjelasan iklim dan keterbatasan modal sangat membatasi jumlah pilihan tanaman oleh petani. Pada awal pembukaan lahan, petani masih bisa menanam beberapa jenis tanaman *palawija* dan *padi gogo*. Adanya gangguan atau masalah yang dihadapi petani pada saat itu (serangan gajah, kerbau, babi hutan, tikus), menyebabkan sebagian besar petani di Pakuan Ratu mengalihkan tanaman ke *tebu*. Walaupun tebu merupakan tanaman yang tahan kekeringan, namun alasan petani memilihnya adalah karena adanya fasilitas dan kemudahan yang diberikan Pabrik Gula yaitu fasilitas kredit sarana produksi dan pembukaan lahan serta pemasaran. Adanya permasalahan dengan fasilitas yang ditawarkan pabrik menyebabkan petani kembali menanam *ubikayu* dan *palawija*. Namun akhirnya, petani kembali menanam hanya *ubikayu*, karena *palawija* mudah terserang hama belalang.

Tanaman ubikayu masih merupakan pilihan terbaik bagi petani, karena beberapa alasan, yaitu: 1) bibit mudah didapatkan dari mana saja, 2) masukan (*input*) produksi sangat murah; 3) penanaman ubikayu tidak membutuhkan pengelolaan yang intensif; 4) hasil ubikayu dapat menjamin kebutuhan hidup sehari-hari; 5) hasil panen ubikayu mudah dijual. Ditinjau dari segi ilmiah, ubikayu adalah satu-satunya pilihan, karena merupakan tanaman yang paling cocok dengan kondisi kesuburan tanah yang semakin menurun.

Tanaman tahunan. Untuk lahan-lahan yang relatif kurang produktif, beberapa petani mulai menanaminya dengan kayu yang menghasilkan kayu bakar atau kayu bangunan dan sekaligus untuk konservasi lahan. Pada umumnya bertanam kayu ini dapat dianggap sebagai tanaman masa depan atau tanaman pensiun, tetapi tergantung dari jenis dan nilai ekonomis kayu tersebut.

Adanya penurunan kesuburan tanah dan berbagai permasalahan lainnya, mengharuskan petani menyesuaikan jenis tanaman dan/atau teknik pengelolaan tanaman agar sesuai dan layak secara biofisik maupun ekonomis. Pengusahaan tanaman semusim dianggap menguras hara tanah, sedangkan penanaman pepohonan diharapkan mampu memperbaiki kesuburan tanah. Oleh karena itu menurut sebagian petani, sebaiknya lahan di Pakuan Ratu ditanami dengan pepohonan sehingga menjadi “pekarangan” dan “perkebunan”. Hal ini dicerminkan dari pernyataan beberapa petani transmigran dari Jawa: “Tanah di Lampung sini yang paling sesuai adalah dikedirikan”.

Sebagian petani telah mencoba menanam beberapa jenis tanaman tahunan di lahan mereka, seperti kopi, kakao, kelapa, kelapa sawit dan karet. Tanaman kopi, kakao dan kelapa sangat peka terhadap masa kekeringan yang panjang, sedangkan kelapa sawit dan karet lebih tahan. Kedua tanaman yang tahan kekeringan tersebut mempunyai kelemahan dan kelebihan. Menurut petani, karet mempunyai kelebihan: 1) dapat tumbuh di segala jenis tanah (subur maupun tidak subur); 2) memberikan penghasilan yang menguntungkan, khususnya bila mereka memanfaatkan lahan antar baris pohon dengan tanaman semusim; 3) hasil panen karet mudah dijual; 4) tahan terhadap kekeringan. Sedangkan kelapa sawit mempunyai kelebihan: 1) tahan terhadap api; 2) membutuhkan tenaga kerja lebih sedikit; 3) menjamin pendapatan dalam jangka panjang. Namun, kelapa sawit menghendaki tanah yang relatif subur dan harus menggunakan pupuk yang lebih banyak.

Persepsi petani tentang pohon. Pohon adalah tanaman berkayu yang memiliki siklus hidup tahunan dan bahkan ada yang melebihi usia manusia rata-rata. Manfaat pepohonan juga beraneka-ragam mulai dari daun, bunga, buah, biji, batang dan cabang sampai kepada akarnya ada yang bisa dimanfaatkan. Karena siklus hidupnya yang panjang maka bisa tumbuh hubungan emosional antara tanaman pohon dengan petani yang menanamnya. Petani seringkali memiliki penilaian yang bersifat sangat spesifik terhadap usaha budidaya pepohonan. Untuk mulai menanam pepohonan, petani tidak hanya mempertimbangkan masalah ekonomis semata, melainkan masih ada faktor-faktor lain yang kadang-kadang lebih penting. Sebelum memperhitungkan masalah teknis dan ekonomis, kita perlu memahami terlebih dahulu apakah ada pandangan-pandangan masyarakat yang spesifik berkaitan dengan adat, agama dan kepercayaan terhadap jenis-jenis pepohonan tertentu. Ada kelompok masyarakat tertentu yang memiliki pandangan khusus terhadap suatu jenis pohon dan pandangan ini berbeda dengan kelompok masyarakat lain. Pandangan semacam ini bisa menjadi faktor pendorong atau sebaliknya menjadi penghambat dalam bertanam pepohonan.

Seringkali petani mengatakan bahwa pertimbangan ekonomis menjadi kendala usaha menanam pepohonan, misalnya harga bibit dan sarana produksi untuk penanaman dan pemeliharaan karena lamanya masa tumbuh sampai berproduksi. Namun banyak pula petani yang memiliki strategi untuk mengatasi masalah tersebut, sehingga mereka bisa menanam lahannya dengan pepohonan. Menurut mereka justru keperluan biaya penanaman tidak begitu tinggi dan rendahnya kebutuhan tenaga untuk merawat dan juga karena tahan kekeringan sehingga pepohonan dipilih sebagai tanaman komersial (*cash crops*). Pohon yang sedang tumbuh dianggap sebagai salah satu cara mengumpulkan modal. Pohon juga memberikan kelonggaran yang besar karena dapat dipanen pada saat mereka memerlukannya. Sebagian besar petani sangat memahami pentingnya arti pohon baik karena kemampuannya dalam menyuburkan tanah maupun untuk memberikan keuntungan secara ekonomi.

Karena siklus hidup (daur) yang lama (sampai puluhan tahun), maka usaha penanaman pepohonan memerlukan perhitungan yang cermat. Salah satu faktor yang sangat penting dan sering dijadikan pertimbangan adalah kepastian status penguasaan atas tanah (*land tenure*). Status pengasaan tanah yang tidak jelas menyebabkan petani enggan menanam pepohonan, karena akan mendatangkan konflik dikemudian hari. Status penguasaan atas tanah seringkali dicampur adukkan dengan status kepemilikan pohon. Tanah milik seseorang yang ditanami pepohonan oleh orang lain dapat menimbulkan perselisihan karena penanaman pohon dianggap sebagai pengambil-alihan hak kepemilikan tanah.

Mengingat lamanya daur dan tingginya nilai ekonomis pepohonan, maka pohon yang sedang tumbuh dapat dianggap sebagai salah satu cara untuk mengumpulkan modal. Pohon dapat memberikan kelonggaran bagi pemiliknya karena dapat dipanen pada saat diperlukan. Tergantung jenis dan nilai ekonomis kayu yang ditanam - kayu bakar atau kayu bangunan - maka bertani pepohonan juga dapat dianggap sebagai *tanaman pensiun* bagi petani.

Pertimbangan lain untuk menanam pepohonan di Pakuan Ratu adalah kekeringan dan bahaya kebakaran. Karena kekeringan dan kebakaran termasuk masalah serius, maka petani memiliki cara sendiri untuk mengelompokkan jenis-jenis pohon berdasarkan tingkat ketahanan terhadap kekeringan dan kebakaran seperti yang disajikan pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Daftar jenis pohon dan tanaman berdasarkan ketahanan terhadap kekeringan menurut persepsi petani di Pakuan Ratu.

Tahan	Sedang	Peka
Buah-buahan/industri Asam, Jengkol, Mangga, Petai, Sawit, Karet, Mente, Melinjo, Kedondong,	Buah-buahan Alpukat , Nangka	Buah-buahan Kakao, Kelapa, Kopi, Rambutan
Kekayaan Akasia, Mangium, Mahoni, Jati, Petaian, Sengon merah	Kekayaan Sengon putih	
Tanaman/gulma Alang-alang, Ubikayu		

Tabel 2.3 Daftar jenis pohon berdasarkan ketahanan terhadap kebakaran menurut persepsi petani di Pakuan Ratu.

Tahan	Sedang	Peka
Buah-buahan/industri Kelapa Sawit	Buah-buahan/industri Alpukat, Asam, Jengkol, Mangga, Nangka, Petai	Buah-buahan/industri Karet, Kopi, Rambutan
Kekayaan Akasia, Jati, Mahoni, Sonokeling	Kekayaan Petaian, Sengon putih	
Tanaman/Gulma Alang-alang		

2.5 Agroforestri: perpaduan antara tanaman semusim dan pepohonan

Pada dasarnya petani sudah menerapkan sistem agroforestri pada lahan mereka dalam bentuk kebun, pekarangan (Gambar 2.3) atau tegal-pekarangan. Hampir semua petani mempunyai lahan pekarangan, tetapi perkembangan pekarangan itu sangat beragam: mulai dari yang baru terbentuk dicirikan oleh sedikitnya tanaman pohon sampai yang sudah sangat berkembang (*mapan*) sehingga menyerupai hutan dengan struktur tajuk berlapis.

Elmhirst (1996) menyebutkan beberapa alasan yang dikemukakan para petani yang menanam pohon di pekarangan, yaitu: 1) tanaman pelindung bagi rumah mereka; 2) penghasil buah dan daun untuk berbagai keperluan rumah tangga; 3) penghasil kayu bakar dan kayu bangunan yang mereka butuhkan; 4) penghasil pakan; 5) dapat digunakan sebagai pagar rumah dan lahan; dan 6) untuk membuat rumah mereka tambah asri (tanaman hias daun dan yang berbunga). Pekarangan merupakan salah satu bukti bahwa penanaman pohon dalam bentuk

campuran dengan tetap mempertahankan seresah mampu memperbaiki kesuburan tanah.

Walaupun sebagian besar petani telah mengetahui keuntungan yang diperoleh bila menerapkan sistem tumpangsari tanaman semusim dengan pepohonan (agroforestri), ternyata tidak semua petani menerapkan sistem ini di lahan mereka. Mereka cenderung untuk menanam pepohonan hanya pada batas lahan mereka atau sebagai pagar di tanah tegalan. Petani pada umumnya memahami adanya persaingan antara tanaman semusim dan pepohonan bila ditanam berdekatan. Namun kadang-kadang pemahaman ini sangat berlebihan sehingga banyak yang menganggap bahwa tanaman campuran selalu merugikan. Pada umumnya mereka setuju jika sistem agroforestri diterapkan pada lahan-lahan yang berlereng untuk tujuan konservasi lahan.



Gambar 2.3 Contoh pekarangan terdiri dari pohon mangga, rambutan, belinjo, pisang. Sebagai tumbuhan bawah adalah talas, sereh, kunyit dan lain-lainnya (Foto: Meine van Noordwijk).

2.6 Penutup

Pemahaman terhadap petani mempunyai arti penting karena akan menentukan keberhasilan peneliti dan penyuluh atau pendamping dalam menggali permasalahan mereka serta akan lebih mengarahkan pencarian solusi pemecahan permasalahan tersebut berdasarkan kendala dan hambatan yang mereka hadapi. Petani bersifat dinamis, di mana arah perkembangannya ditentukan oleh stadia perkembangan rumahtangga, serta peluang, kendala dan keterbatasan yang mereka hadapi. Pemahaman yang lebih baik juga akan mampu memperbaiki

jurang komunikasi antara petani dengan pihak-pihak lain yang berkeinginan memberdayakan mereka.

Petani transmigran dari Jawa yang ditempatkan di Pakuan Ratu masih dalam taraf belajar berusahatani di daerah yang sama sekali baru bagi mereka. Pengalaman di Jawa dan di daerah Gunung Balak (Lampung Selatan) memperkaya pengetahuan bertani mereka, tetapi tidak seluruh pengetahuan itu dapat diterapkan ditempat yang baru ini. Mereka harus berhadapan dengan tanah masam yang jika diusahakan untuk pertanian menetap akan menghadapi masalah penurunan kesuburan tanah serta keracunan aluminium dan besi. Karakter lahan dan tabiat iklim yang sangat jauh berbeda memerlukan waktu belajar yang lebih lama, dan mendorong mereka untuk belajar dari petani Lampung asli, terutama dalam hal bertani pohon.

3 Karakteristik tanah masam: pengalaman penelitian di Pakuan Ratu

3.1 Deskripsi lokasi penelitian

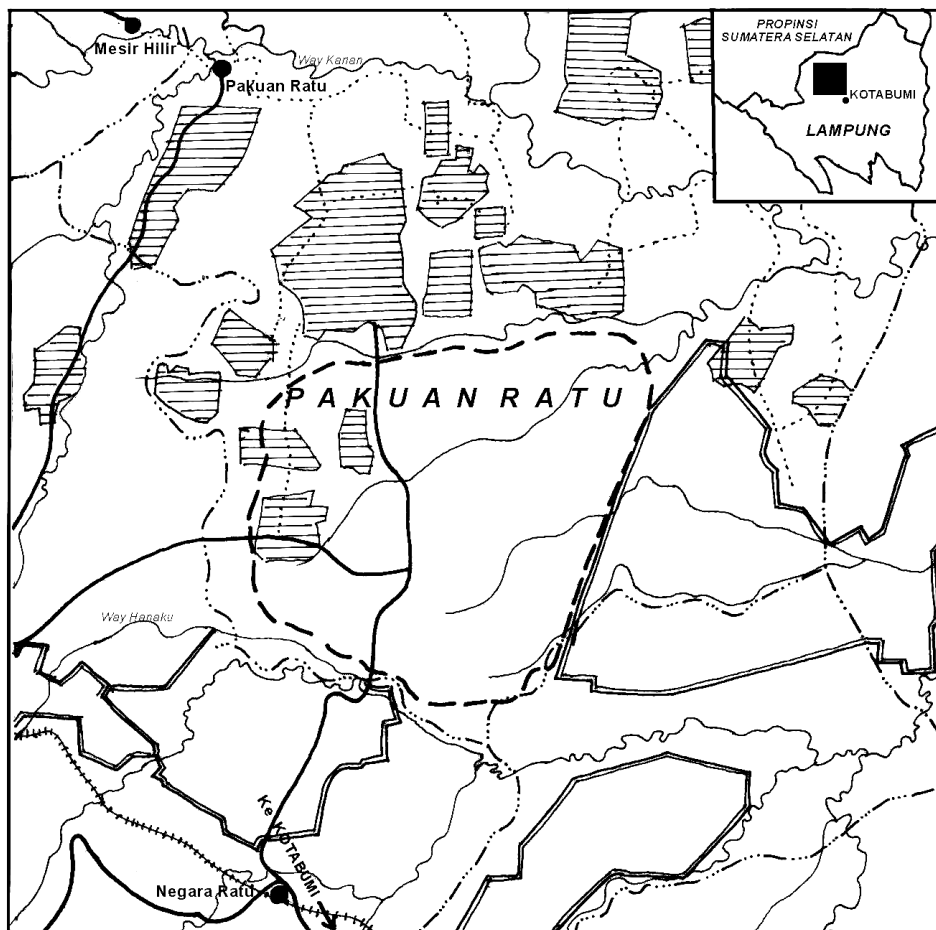
Ciri umum tanah masam adalah nilai pH tanah rata-rata kurang dari 4,0 dan tingginya kandungan unsur aluminium. Tanah masam terdapat di berbagai wilayah Indonesia maupun di bagian lain di dunia ini. Walaupun tanah-tanah itu dapat dikelompokkan sebagai “tanah masam”, tetapi sangat mungkin terdapat sifat-sifat tanah yang tidak sama. Sehingga cara penanggulangan dan pengelolaan anggota tanah masam itu tidak selalu sama. Sebagai langkah pertama untuk menangani tanah masam adalah dengan mengenali lokasi sebarannya dan ciri-ciri penting lain yang dimilikinya karena keberadaannya di kawasan itu.

Informasi umum yang diperlukan untuk menggambarkan lokasi tanah ini adalah dengan menunjukkan letak geografis, deskripsi tanda-tanda (*landmark*) untuk menemukan kembali lokasi ini, penjelasan tentang wilayah administrasi atau wilayah kerja suatu lembaga/perusahaan, dan gambaran umum tentang wilayah di sekitarnya serta hal-hal lain yang mungkin menjadi ciri istimewa dari lokasi yang dimaksudkan. Ilustrasi yang berupa peta lokasi dan peta wilayah sangat membantu dan memperjelas proses pemahaman ini.

Dalam Contoh Kasus 3.1 dan Gambar 3.1 disajikan uraian umum tentang lokasi daerah penelitian desa Karta di wilayah Pakuan Ratu, Lampung, di lokasi mana sejak tahun 1985 telah diadakan penelitian yang berhubungan dengan pengelolaan kesuburan tanah masam. Hasil-hasil penelitian dan temuan dari kawasan ini ditambah dengan pengalaman di daerah lainnya menjadi sumber utama penulisan buku ini dan akan disebar-luaskan ke daerah-daerah lain.









Uraian karakteristik umum kawasan seringkali hanya menjadi pelengkap dalam setiap laporan. Namun dalam kesempatan ini ditekankan pentingnya memahami kondisi umum tersebut karena ada beberapa hal yang mungkin sangat berpengaruh terhadap analisis permasalahan dan pemecahannya. Karakteristik daerah penelitian ini perlu dipahami lebih dulu sehingga penerapan teknologi yang dianjurkan dapat disesuaikan dengan daerah yang dituju. Deskripsi ini merupakan contoh tentang hal minimum yang perlu diuraikan agar dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam pengambilan keputusan.

3 Karakteristik Tanah Masam



Skala :
0 2.5 5 Km

Legenda :

- | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Daerah Transmigrasi |  Sungai |
|  Kota Kecamatan |  Batas Kecamatan |
|  Jalan (a)Trans (b)kabupaten |  Batas Perkebunan Besar |
|  Jalan Kereta |  Batas Hutan Produksi Biasa (HPB) |

Gambar 3.1 Peta situasi kawasan Pakuan Ratu

Contoh Kasus 3.1 Deskripsi lokasi penelitian

Karta adalah sebuah desa yang terletak dalam *daerah tangkapan sungai (catchment)* Way Kiri dan Way Kanan. Kedua anak sungai ini bertemu dan menjadi satu aliran sungai yaitu Way Tulangbawang. Bagian hulu sungai ini dikenal sebagai kawasan *Pakuan Ratu*. Desa Karta secara administratif termasuk wilayah Kecamatan *Sungkai Selatan*, Daerah Tingkat II Kabupaten *Way Kanan*). Adanya pemekaran wilayah, sejak tahun 1998 sebagian kawasan Pakuan Ratu termasuk Kabupaten Lampung Utara dan sebagian lagi masuk Kabupaten Way Kanan.

Secara geografis, Karta terletak pada koordinat 4° 30' LS dan 105° 00' BT. Lokasi berada dalam wilayah Pabrik Gula Bunga Mayang dibawah pengelolaan PTP Nusantara VII yang berkedudukan di Bandar Lampung. Posisi desa Karta lebih kurang sebelah utara dari Kotabumi. Jarak antara Kotabumi dan Karta sekitar 50 km, yang dihubungkan dengan jalan beraspal sepanjang 20 km dan sisanya sepanjang 30 km masih berupa jalan tanah.

Kawasan Pakuan Ratu ini merupakan suatu *penepelan*, yakni dataran yang sudah tertoreh oleh proses pengikisan (*erosi*) dalam jangka waktu yang sangat lama sehingga permukaannya menjadi berombak sampai bergelombang, dengan kemiringan antara 3 sampai 15%. Sebagian besar hutan yang menutupi kawasan ini telah ditebang, berganti dengan pertanian, perkebunan atau semak dan alang-alang. Pada areal terbuka tampak jelas gejala-gejala erosi di permukaan tanah. Aliran air membentuk suatu pola drainasi yang bercabang-cabang. Ketinggian tempat atau elevasi daerah ini antara 20 – 100 m di atas permukaan laut. Aliran air dari kawasan ini akhirnya masuk kedalam Way Tulangbawang.

Bahan induk tanah berasal dari *tufa masam* dan batuan endapan *felsik* kasar. Pada bagian punggung bukit dan lereng atas yang kemiringannya 0–8 % umumnya dijumpai tanah *Ultisols*, sedang di bagian lereng tengah dan lereng bawah dengan kelerengan 3–15 % kebanyakan adalah tanah *Oxisols*. Di lembah bukit dan sepanjang sungai dijumpai tanah-tanah yang merupakan hasil endapan material yang tererosi di bagian atasnya, diklasifikasikan sebagai tanah *Inceptisols*.

3.2 Keadaan iklim

Pengetahuan tentang iklim dari suatu wilayah sangat penting, sehingga diperlukan penyajian atau deskripsi iklim yang tepat supaya dapat memberikan gambaran tentang kondisi suatu wilayah dengan baik. Deskripsi iklim bukan hanya sekedar penyajian data iklim, melainkan harus bisa menjelaskan kepada pembaca sehingga mereka dapat memahami beberapa hal penting misalnya:

- Alasan-alasan petani memilih jenis-jenis tanaman yang diusahakan dan menentukan kalender tanam atau pola tanam.
- Kejadian-kejadian yang disebabkan oleh elemen-elemen iklim yang dapat mempengaruhi keberhasilan atau kegagalan usaha tani.
- Strategi petani dalam mengalokasikan tenaga kerja dan sumberdaya lain yang dimilikinya.
- Latar belakang dan alasan untuk memberikan anjuran terhadap introduksi tanaman baru, perbaikan pola tanam dan perbaikan pengelolaan lainnya.

Iklm dicirikan oleh berbagai unsur atau elemen iklim, yang masing-masing memiliki peran dalam mempengaruhi usaha tani. Semua elemen memang penting, namun ada elemen yang dianggap sangat penting dan ada juga elemen yang kurang penting di suatu daerah. Ini harus dapat diungkapkan dengan jelas, karena apa yang dianggap penting di suatu wilayah belum tentu sama pentingnya dengan di wilayah lain atau sebaliknya.

3.2.1 Suhu udara, radiasi matahari, dan kelembaban udara

Kawasan Pakuan Ratu yang terletak pada garis lintang 4°30' LS, merupakan daerah ekuator atau tropik (Contoh Kasus 3.1). Sebagaimana pada umumnya daerah tropik dataran rendah (elevasi < 100 m), kawasan ini memiliki ciri-ciri iklim tropik yang sangat kuat yakni panjang hari yang hampir selalu sama (*konstan*) serta suhu dan kelembaban udara yang tinggi sepanjang tahun. Panjang hari sekitar 12 jam dengan lama penyinaran antara 18-84% menghasilkan radiasi matahari rata-rata sebesar 12,8 MJ m⁻² hari⁻¹. Suhu udara rata² tahunan 26,5° C dengan kisaran minimum dan maksimum antara 22,1° – 32,6° C (Tabel 3.1).

Tabel 3.1. Data iklim rata-rata bulanan di Karta, PG Bunga Mayang, Lampung Utara (1989)

Bulan	Suhu Udara (°C)			Kel.U	Kec.A	Pan.A	Cur.H	Lam.P	Rad.M
	Rata ²	Min	Maks	%	km jam ⁻¹	Mm	mm	%	cal cm ⁻²
Jan	26.8	23.0	32.3	97.0	1.8	127	243	46.6	140.0
Peb	25.8	22.4	30.9	97.2	1.9	95	465	30.5	127.3
Mar	26.4	22.0	32.4	96.9	1.5	180	292	49.2	138.0
Apr	27.1	22.2	33.6	97.0	1.1	131	226	51.5	126.3
Mei	27.0	22.0	33.3	96.8	1.0	131	109	53.0	108.4
Jun	26.6	21.7	32.9	97.0	1.3	127	143	59.4	107.0
Jul	26.2	21.4	33.2	96.7	1.4	141	213	57.6	109.6
Agu	26.0	21.4	32.7	96.7	2.2	149	83	52.4	116.4
Sep	26.2	21.5	32.9	96.6	2.0	154	66	50.4	124.3
Okt	26.6	22.1	32.8	96.8	1.4	139	133	41.3	126.2
Nop	26.6	22.6	32.4	97.1	1.3	124	287	44.0	121.0
Des	26.7	22.7	32.2	96.9	1.8	147	512	49.6	116.0
1989	26.5	22.1	32.6	96.9	1.6	1643	2772	48.8	121.7

Keterangan:

Rata² = Suhu Rata-rata Kel.U = Kelembaban Udara Cur.H = Curah Hujan
Min = Suhu Minimum Kec.A = Kecepatan Angin **Lam.P** = Lama Penyinaran
Maks = Suhu Maksimum Pan.A = Penguapan Panci (A) **Rad.** = Radiasi Matahari

Elemen-elemen iklim tersebut sangat menentukan jenis-jenis tumbuhan dan hewan yang dapat hidup di kawasan ini. Pilihan jenis komoditas pertanian

yang dapat tumbuh dan berproduksi secara optimal pertama-tama harus didasarkan pada kondisi unsur-unsur iklim seperti suhu udara, radiasi matahari, panjang hari dan lama penyinaran, serta mungkin yang menjadi pertimbangan tambahan adalah tekanan udara, kelembaban udara dan kecepatan angin. Perubahan elemen iklim tersebut di daerah ini dapat dikatakan kurang penting, karena fluktuasi musiman atau tahunan ternyata kecil sekali. Bahkan fluktuasi unsur iklim harian ternyata lebih besar dibandingkan fluktuasi musiman, misalnya suhu udara (Contoh Kasus 3.2).

Contoh Kasus 3.2 **Ciri-ciri iklim di Pakuan Ratu**

Ciri-ciri iklim yang penting kawasan ini:

- Suhu udara konstan sepanjang tahun, Fluktuasi harian lebih besar dari fluktuasi tahunan
- Radiasi matahari agak rendah karena faktor keawanan dan hampir merata sepanjang tahun
- Kelembaban udara tinggi juga hampir merata sepanjang tahun.

Perbedaan nilai maksimum dan minimum harian ternyata lebih besar dibandingkan nilai maksimum dan minimum tahunan. Berikut ini contoh yang terjadi dengan suhu udara:

Variabel	Maksimum	Minimum	Selisih
Suhu Harian	32.3	23.0	8.3
Suhu Tahunan Rata-rata	27.1	25.8	1.3
Suhu Tahunan Minimum	23.0	21.4	1.6
Suhu Tahunan Maksimum	33.6	30.9	2.7

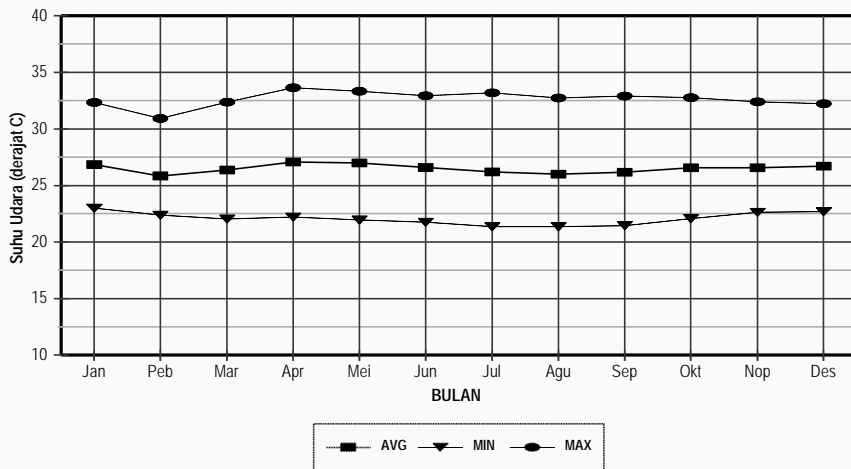
Tabel di atas menunjukkan bahwa perbedaan suhu udara yang diakibatkan oleh perubahan siang dan malam adalah lebih besar (8,3°C) dibanding perbedaan yang disebabkan oleh perubahan musim panas dan musim dingin (1,3°C – 2,7°C).

Faktor suhu ini menjadi sangat penting apabila terjadi fluktuasi yang besar dalam waktu relatif singkat, misalnya seperti yang terjadi di daerah beriklim dingin (sub-tropika). Di daerah tropika dataran rendah suhu udara relatif konstan (Gambar 3.2.), sehingga tidak menimbulkan permasalahan yang berarti bagi pertanian. Elemen-elemen iklim yang lain pada umumnya juga relatif konstan, sehingga pada umumnya kurang diperhatikan.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa terdapat elemen-elemen iklim yang lebih mudah ditaksir (*predictable*), misalnya suhu udara, radiasi matahari dan kelembaban udara relatif yang pada umumnya hampir merata sepanjang tahun. Suatu hal yang perlu diperhatikan apakah pernah terjadi nilai-nilai ekstrem yang dapat mengakibatkan kerusakan pada tanaman. Adanya kejadian yang ekstrem walaupun cuma berlangsung singkat seringkali berpengaruh besar terhadap

pertanian. Kejadian seperti angin kencang (topan, tsunami, dsb) atau suhu dingin yang datang tiba-tiba, dan sebagainya perlu mendapat perhatian khusus. Bilamana kejadian-kejadian ekstrem seperti ini sering terjadi di suatu wilayah, maka harus dicatat dan dilaporkan supaya dapat dipertimbangkan dalam menyusun perencanaan dan rekomendasi. Pengalaman penelitian di Pakuan Ratu memang belum pernah mencatat kejadian ekstrem dan mendadak, kecuali kejadian gempa bumi yang tidak mengakibatkan kerusakan berarti di daerah ini.

Berdasarkan data pengamatan yang cukup lama di berbagai daerah di Indonesia yang merupakan kawasan beriklim tropik, ternyata bahwa nilai unsur-unsur iklim tersebut tidak terlalu berfluktuasi dari tahun ke tahun. Oleh karena itu adanya data yang sangat terbatas sudah dapat dipakai untuk mencirikan wilayah ini dengan cukup baik (*Tabel 3.1*). Di daerah lain yang tidak terdapat stasiun iklim, dapat menggunakan data dari stasiun lain secara langsung dengan sedikit penyesuaian. Beberapa elemen iklim memiliki hubungan tertentu dengan faktor-faktor lain, misalnya suhu dengan ketinggian tempat di Jawa dan Madura (Braak, Junghuhn), radiasi matahari dengan jarak dari pantai di Jawa Barat (Oldeman), dan sebagainya.



Gambar 3.2 Pola sebaran suhu udara rata-rata, maksimum dan minimum di Stasiun Bunga Mayang, Pakuan Ratu Tahun 1989. (Keterangan Legenda: Avg = suhu rata-rata; Max = suhu maksimum; Min = suhu minimum)

3.2.2 Curah hujan

Elemen iklim yang dianggap paling penting di Indonesia adalah curah hujan karena sebarannya tidak merata menurut dimensi ruangan dan waktu, sehingga sulit diprediksi. Hujan menjadi faktor penentu utama pada usaha tani sistem tadah hujan. Namun bila ada irigasi yang cukup, maka faktor curah hujan bisa menjadi kurang penting.

Pola curah hujan yang sangat dipengaruhi oleh pola muson menjadi penciri utama iklim di berbagai daerah di Indonesia. Pada umumnya terdapat dua musim dalam setahun yaitu musim penghujan dan musim kemarau. Berbeda dengan elemen-elemen iklim lainnya, curah hujan tidak dipengaruhi oleh siklus harian (perubahan siang dan malam), tetapi pengaruh dari siklus musiman atau tahunan (muson) yang disebabkan oleh peristiwa revolusi bumi (perputaran bumi mengelilingi matahari) adalah sangat dominan.

Banyak keputusan dalam usaha pertanian yang sangat ditentukan dan dipengaruhi oleh faktor hujan ini, terutama pada sistem pertanian tadah hujan. Beberapa aspek penting dari hujan yang perlu diperhatikan adalah: jumlah dan sebaran (distribusi) hujan tahunan, hujan bulanan, dasarian atau lima-harian, bahkan sampai harian, intensitas hujan, faktor keragaman dan peluang hujan (prediksi), dan sebagainya. Berikut ini disajikan contoh-contoh analisis hujan di kawasan Pakuan Ratu yang dapat dipakai untuk memahami petani dalam melakukan tindakan pengelolaan tanaman dan tanahnya.

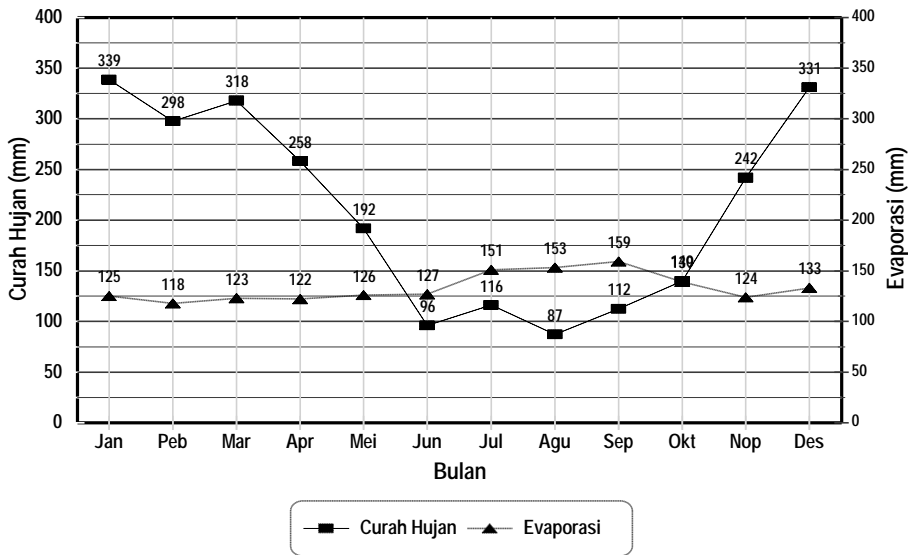
Hujan merupakan sumber utama masukan air untuk lahan pertanian (terutama lahan tadah hujan) dan evaporasi adalah indikator keluarannya. Oleh karena itu neraca air dari suatu kawasan dapat dilihat secara cepat dengan membandingkan masukan dan keluaran ini, walaupun sifatnya masih sangat kasar. Dari neraca ini dapat diketahui apakah dalam suatu periode terjadi surplus (pemasukan air lebih banyak) atau terjadi defisit (kebutuhan air lebih banyak). Periode surplus air merupakan indikator musim penghujan sementara periode defisit dapat dikatakan sebagai musim kemarau. Analisis curah hujan dan evaporasi rata-rata bulanan (Gambar 3.3) dapat memberi gambaran pembagian musim di kawasan ini.

Berdasarkan Gambar 3.3, curah hujan rata-rata 2.529 mm tahun⁻¹, sebagian besar jatuh antara bulan Nopember sampai dengan Mei (78%) dan hanya 22% jatuh antara bulan Juni sampai dengan Oktober. Sementara evaporasi potensial sebesar 1.600 mm tahun⁻¹ tersebar merata sepanjang tahun. Dengan demikian neraca air tahunan selalu menunjukkan *surplus*, artinya curah hujan lebih besar daripada penguapan. Namun bila dilihat dalam periode bulanan, ternyata surplus air itu hanya terjadi antara Nopember-April (enam bulan), sedangkan antara bulan Juni-September (empat bulan) terjadi defisit. Pada periode ini tanaman hanya mendapatkan air dari sisa-sisa yang masih tertahan dalam tanah. Antara bulan Desember sampai dengan Maret sering terjadi surplus yang besar. Kelebihan air pada musim penghujan ini sebagian besar tidak dapat ditahan dalam tanah, sehingga dialirkan melalui permukaan (sungai) yang sering menyebabkan terjadinya erosi atau banjir.

Lamanya periode kering dan periode basah ini sangat menentukan pola tanam dan kalender tanam, yakni meliputi pemilihan jenis tanaman dan kapan waktu penanamannya. Oleh sebab itu beberapa pakar menggunakan konsep bulan basah dan bulan kering untuk mencirikan iklim atau agroklimat di suatu wilayah. Mohr (1933) dan Schmidt & Fergusson (1951) mengenalkan istilah bulan basah (*yaitu memiliki curah hujan lebih dari 100 mm per bulan*) dan bulan kering

3 Karakteristik Tanah Masam

(yaitu memiliki curah hujan kurang dari 60 mm per bulan). Konsep bulan basah dan bulan kering yang lain diusulkan Oldeman (1975), didasarkan atas pemakaian air oleh tanaman. Menurut konsep ini bulan basah adalah bulan yang memiliki curah hujan 200 mm atau lebih, jumlah kebutuhan minimum untuk tanaman padi sawah. Bulan kering memiliki curah hujan 100 mm atau kurang, merupakan batas kebutuhan penguapan (evapotran-spirasi) bagi tanaman lahan kering.



Gambar 3.3 Pola sebaran hujan bulanan dan evaporasi bulanan di Stasiun Bunga Mayang, Pakuan Ratu, tahun 1989.

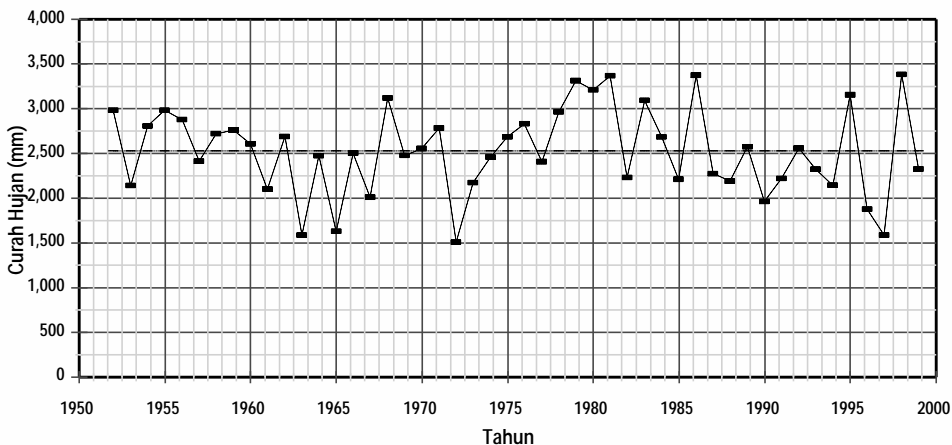
Bulan kering (*curah hujan < 100 mm bulan*) rata-rata hanya terjadi selama 2 bulan, sementara bulan basah (*curah hujan > 200 mm bulan⁻¹*) terjadi sebanyak 5 kali. Berdasarkan jumlah bulan basah dan kering rata-rata, daerah Pakuan Ratu termasuk dalam zone agroklimat C2. Namun demikian, dari 48 tahun pengamatan ternyata bahwa hanya 11 kali yang termasuk dalam zone C2 (23%), sementara lainnya bisa masuk zone B1 sampai D3 (Tabel 3.2). Hal ini membuktikan bahwa terjadi keragaman cuaca yang sangat besar dari tahun ke tahun. Keragaman ini jauh lebih penting dibanding dengan apa yang bisa ditunjukkan dengan data rata-rata. Faktor keragaman yang timbul akibat waktu ini mempengaruhi pola pertanian dan pengambilan keputusan oleh petani. Oleh karena itu gambaran iklim wilayah yang lengkap harus memasukkan faktor keragaman yang menggambarkan risiko-risiko yang dihadapi petani.

Tabel 3.2 Zone agroklimat selama 48 tahun terakhir

Z. Agroklimat	B ₁	B ₂	C ₁	C ₂	C ₃	D ₁	D ₂	D ₃	E ₁	E ₂	E ₃
Juml Kejadian	4	4	5	11	3	5	2	6	3	2	3
Peluang (%)	0.08	0.08	0.10	0.23	0.06	0.10	0.04	0.13	0.06	0.04	0.06

Keragaman curah hujan dapat dilihat dari hujan tahunan yang terjadi selama beberapa puluh tahun terakhir. Data dari Pakuan Ratu menunjukkan adanya keragaman yang cukup besar dari tahun ke tahun (*Gambar 3.3*). Dari 48 tahun terakhir, hujan tahunan terendah 1.510 mm dan tertinggi 3.385 mm, sedangkan hujan rata-rata 2.529 mm. Jumlah tahun yang mendapat curah hujan lebih dari 3.000 mm sebanyak 7 kali. Walaupun tingkat keragaman cukup besar ($CV = \text{koefisien keragaman} = 19\%$), namun hujan tahunan di kawasan ini termasuk sangat tinggi, dan tidak pernah kurang dari 1.500 mm tahun⁻¹.

Tingginya curah hujan tahunan inilah yang menyebabkan kawasan ini dimasukkan dalam daerah tropika basah (*humid tropics*). Walaupun tergolong daerah basah atau humid, ternyata berdasarkan apa yang dialami oleh masyarakat setempat ada kalanya dijumpai apa yang disebut sebagai *tahun basah* dan *tahun kering* dan ada pula yang dikatakan sebagai *tahun yang normal*.



Gambar 3.4 Variasi curah hujan tahunan dari Tahun 1952 sampai dengan Tahun 1999 di Pakuan Ratu.

Besarnya curah hujan tahunan yang telah diuraikan ternyata tidak selalu terkait dengan *tahun basah* atau *tahun kering* yang sering dihadapi masyarakat tersebut. Ternyata bahwa tahun kering dan tahun basah ini tidak selalu berkorelasi positif curah hujan tahunan. Curah hujan tahunan yang besar tidak selalu berarti mempunyai periode basah yang melebihi rata-rata, demikian pula sebaliknya tahun kering. Istilah tahun basah dan tahun kering lebih banyak

dihubungkan dengan lamanya periode kering dalam tahun yang bersangkutan. Analisis ini biasanya didasarkan pada data hujan bulanan, yaitu dengan membedakan adanya bulan basah (*hujan > 200 mm*) dan bulan kering (*hujan < 100 mm*). Berdasarkan data rata-rata selama 50 tahun, jumlah bulan kering (yang berturut-turut - *consecutive*) dalam setahun di wilayah ini adalah 2 bulan dan jumlah bulan basah 5 bulan. Data rata-rata selama 50 tahun menunjukkan bahwa daerah ini tergolong basah (zone agroklimat C2).

Jika dilihat pengalaman dari tahun ke tahun, ternyata bahwa jumlah bulan kering bisa bervariasi dari 0 bulan (tidak ada bulan kering) sampai 6 bulan per tahun, sedangkan bulan basah bervariasi mulai dari 1 bulan sampai 9 bulan. Yang lebih penting lagi adalah berapa kali terjadi bulan kering dalam setahun selama 50 tahun terakhir ini, yang menunjukkan peluang kejadian (*probability*) dan pada bulan apa saja kemungkinan itu bisa terjadi (Contoh Kasus 3.3).

Contoh Kasus 3.3 Peluang

Tabel 3.3. Peluang terjadinya Bulan Basah (> 200 mm bulan⁻¹) dan Bulan Kering (100 mm bulan⁻¹) selama 48 tahun terakhir di Kotabumi.

3.3.a Peluang jumlah bulan Basah (BB) dan Bulan Kering (BK) dalam setahun

Jumlah	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
P-(BB)	0.00	0.06	0.06	0.15	0.16	0.23	0.17	0.08	0.00	0.08	0.00	0.00
P-(BK)	0.10	0.25	0.27	0.13	0.00	0.19	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

3.3.b Peluang terjadinya Bulan Basah (BB) dan Bulan Kering (BK) setiap bulan

Bulan	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nop	Des
P-(BB)	0.90	0.83	0.90	0.71	0.42	0.06	0.21	0.08	0.19	0.25	0.65	0.88
P-(BK)	0.00	0.00	0.00	0.02	0.17	0.58	0.50	0.63	0.50	0.40	0.10	0.00

Hasil perhitungan peluang ini yang disajikan dalam Tabel 3.3. Dari Tabel 3.3.a dapat dilihat bahwa kemungkinan terjadinya bulan basah sebanyak 2 bulan atau kurang adalah 13%, sedangkan untuk 3 sampai 4 bulan 31% dan untuk lebih dari 4 bulan adalah 56%. Peluang untuk terjadinya bulan kering kurang dari 3 bulan sebesar 62%, sedangkan untuk 3 sampai 4 bulan hanya 13% dan untuk terjadinya bulan kering melebihi 4 bulan adalah 25%.

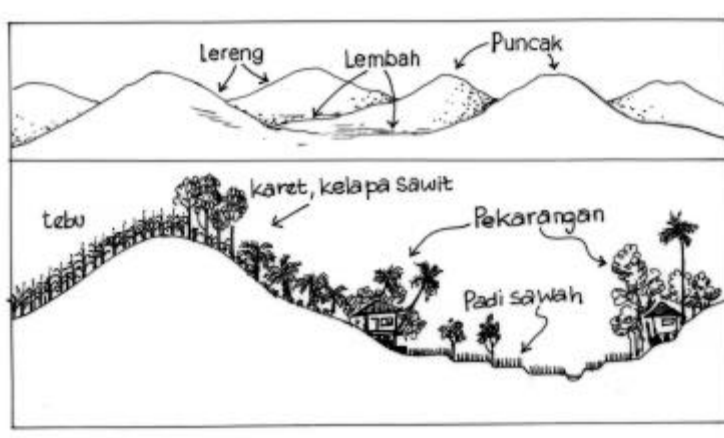
Sementara itu dari Tabel 3.3.b dapat dilihat pada bulan apa saja yang memiliki peluang besar terjadi kekeringan. Ternyata bahwa sepanjang bulan Januari, Pebruari, Maret dan Desember tidak pernah terjadi hujan kurang dari 100 mm, sementara pada bulan April hampir selalu diatas 100 mm juga. Bulan Juni sampai Oktober adalah yang memiliki peluang paling besar untuk menjadi bulan kering, dengan kemungkinan antara 40 sampai 63%. Sebaliknya untuk bulan basah, ternyata Juni dan Agustus adalah yang paling kecil peluangnya menjadi bulan basah (6 - 8%) dan yang terbesar peluangnya adalah Desember sampai dengan April (peluangnya 71 - 90%).

Analisis hujan dalam periode yang lebih singkat, misalnya periode lima-harian (*pentade*), dasarian (*dekade*) ternyata dapat memberi gambaran pola hujan

dengan lebih baik dan menjelaskan permasalahan yang dihadapi petani. Pola hujan yang semacam ini sangat mempengaruhi pilihan kalender tanam baik untuk tanaman semusim atau tanaman pangan. Pemilihan jenis tanaman yang tidak terganggu oleh banyaknya air untuk di awal musim penghujan dan jenis yang tahan kekeringan untuk periode akhir musim penghujan dan awal musim kemarau. Keragaman distribusi curah hujan dalam kawasan ini diduga cukup berarti, namun tidak dilakukan analisis keragaman ruangan (*spatial distribution*) karena data yang kurang mencukupi untuk kebutuhan tersebut. Ditinjau dari unsur-unsur iklim yang dominan di daerah Pakuan Ratu ini, maka selain curah hujan tidak terdapat unsur lain yang bersifat ekstrem dan sulit diprakirakan. Curah hujan menjadi faktor tunggal yang sangat berpengaruh terhadap keragaman kegiatan dan kalender pertanian di kawasan ini, terutama karena sebagian besar usaha pertanian tersebut merupakan pertanian tadah hujan (*rainfed*).

3.3 Keadaan terain dan tanah

Sebagaimana telah disebutkan, kawasan Pakuan Ratu terletak pada dataran yang disebut *penepalan* dengan bentuk wilayah berombak sampai bergelombang. Secara umum wilayah ini dapat dibedakan menjadi tiga bagian yaitu *bagian puncak*, *lereng* dan *lembah* (Gambar 3.5). Pembagian ketiga kelompok ini kadang-kadang sangat membantu memahami perbedaan potensi detil dari kawasan ini, sehingga dapat membantu menyusun perencanaan yang tepat pada tingkat petani. Perbedaan pada ketiga bagian itu bisa meliputi perbedaan proses erosi, bahan induk, perkembangan tanah, vegetasi alami dan hidrologi.

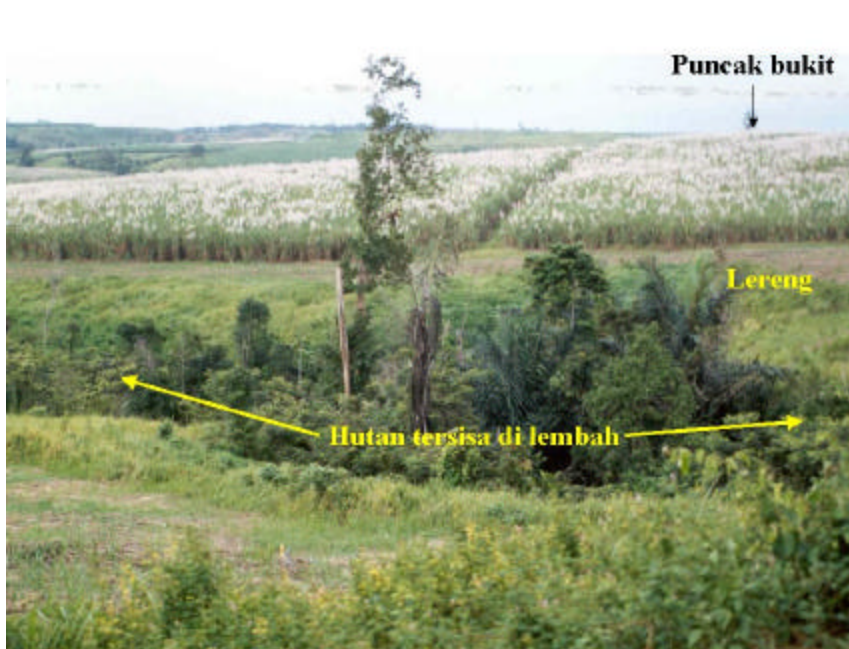


Gambar 3.5 Sketsa transek bentuk lahan kawasan Pakuan Ratu

Bagian puncak pada umumnya lebih resisten terhadap erosi sementara bagian lereng sudah mengalami erosi sangat berat dan bagian lembah merupakan daerah pengendapan atau deposisi. Pada bagian lembah secara hidrologis

menahan air lebih banyak dan lama sehingga selalu basah sepanjang tahun. Hal ini ditunjukkan dari adanya jenis-jenis vegetasi alami yang dominan di bagian lembah (*gallery forests*) yang berbeda dari bagian lereng dan puncak, terutama bila hutan alami sudah berganti menjadi semak-belukar dan alang-alang akibat kebakaran atau penebangan hutan (*Gambar 3.6*).

Sehubungan dengan adanya perbedaan-perbedaan tersebut biasanya jenis tanah juga berlainan pada posisi yang berbeda. Tanah-tanah di bagian puncak dan lereng bukit seringkali berbeda dari tanah-tanah yang ada di bagian lembah. Bahkan kadang-kadang tanah di bagian puncak juga berbeda dari tanah di bagian lereng. Di daerah lembah yang secara hidrologis lebih basah dan umumnya merupakan daerah endapan (deposisi) dijumpai *Entisols* dan *Inceptisols* (misalnya *Tropofluvents*, *Hydraquents* atau *Dystrudepts*). Penyebaran jenis-jenis tanah ini di kawasan Pakuan Ratu tidak terlalu luas (kurang dari 15% dari luas wilayah) dan lokasinya terserak tidak menjadi satu hamparan, sehingga tidak bisa menunjukkan potensinya secara nyata. Namun dalam skala mikro (skala rumah-tangga atau *house-hold*) peranan bagian ini sangat besar, karena sering menjadi sandaran utama pendapatan petani. Oleh karena itu nilai atau harga tanah yang terletak pada bagian ini umumnya lebih mahal dibanding lahan pada bagian lainnya.



Gambar 3.6 Pemandangan umum kawasan Pakuan Ratu: peneplain yang sudah terbuka, bagian lembah masih menyisakan vegetasi alami yang disebut *gallery forest*. (Foto: Kurniatun Hairiah).

Di bagian puncak dan lereng pada umumnya merupakan bagian yang tererosi dapat ditemukan tanah *Kandiudults* (*Ultisols*) dan *Hapludox* (*Oxisols*). Kebanyakan *Ultisols* dijumpai pada puncak, sedang *Oxisols* pada lereng, namun

kadang-kadang kedua jenis tanah ini juga bisa dijumpai pada puncak dan lereng sekaligus.

Tanah di puncak dan lereng perbukitan tidak terlalu dalam karena di bawahnya ada lapisan kerikil (*kerokos – laterit*). Bila lapisan atas tererosi, maka muncullah lapisan berkerikil tersebut di permukaan. Tanah pada umumnya berwarna kemerahan, menunjukkan dominasi oksida besi dan aluminium (Al), sehingga reaksinya sangat masam. Pada lapisan bawah seringkali terdapat timbunan Al sehingga bisa meracuni akar tanaman (Gambar 3.7).



Gambar 3.7 Profil tanah di Karta, Pakuan Ratu: masalah buruknya drainasi di lapisan bawah menyebabkan adanya konkresi besi. Krokos yang menghalangi akar menembus lapisan tanah lebih dalam. (Foto kiri oleh Wirastanto dan kanan oleh Kurniatun Hairiah).

Lapisan perakaran tanah ini umumnya miskin hara karena miskin mineral dan bahan yang bisa mengikat unsur. Terlebih pada daerah yang memiliki curah hujan tinggi menyebabkan unsur hara penting mudah terangkut oleh aliran air baik ke samping (erosi) maupun ke bawah (pencucian). Adanya lapisan kerikil atau lapisan yang mengandung Al bisa menghambat pertumbuhan akar tanaman,

sehingga kedalaman penyebaran akar menjadi terbatas. Ini sangat merugikan tanaman karena tidak memungkinkan mencari dan mengambil air dan unsur hara dari lapisan yang lebih bawah.

Mineralogi

Iklim tropis yang panas dengan curah hujan tinggi mengakibatkan terjadinya proses pelapukan mineral dan batuan serta pencucian yang sangat cepat. Proses pelapukan yang intensif ini melepaskan unsur-unsur yang akhirnya hilang tercuci, dan hanya menyisakan produk akhir pelapukan dan mineral-mineral tahan lapuk, yang pada umumnya kurang menyumbangkan unsur hara bagi tanaman. Tanah yang mencapai tahapan perkembangan seperti ini dinamakan tanah Oxisols. Sedangkan Ultisols terbentuk pada lahan yang telah mengalami pencucian intensif. Walaupun proses pencucian dan pelapukan berjalan sinergis, tanah Ultisol masih mengandung mineral alumino-silikat (kaolinit) lebih banyak daripada Oxisols. Tanah-tanah Oxisols didominasi oleh mineral hidrous oksida besi atau aluminium dan kaolinit. Mineral-mineral tersebut mempunyai daya kohesi, plastisitas, dan kapasitas memuai yang rendah, dan kapasitas tukaran kation yang rendah, sehingga sangat mempengaruhi sifat fisik dan kimia tanah.

Sifat fisik

Tanah Oxisols pada umumnya tidak mempunyai sifat fisik pembatas bagi pertumbuhan tanaman. Karena tanah ini telah mengalami perkembangan lanjut, tanah ini biasanya mempunyai tekstur liat. Dalam kondisi alami, tanah Oxisols mempunyai porositas yang cukup menjamin pergerakan air dan udara, karena partikel liat membentuk agregat mikro yang sangat kuat, sehingga sifat fisiknya menyerupai pasir. Oksida besi dapat berfungsi menjadi penyemen sekaligus pengikat partikel tanah menjadi agregat yang sangat mantap, sehingga tidak mudah hancur oleh pukulan air hujan yang jatuh ke atas permukaan tanah. Tanah Oxisols biasanya mengalami homogenisasi profil, sangat porous di seluruh kedalaman profil, mengakibatkan infiltrasi dan permeabilitas yang cukup cepat. Sifat ini menghasilkan tanah yang tahan erosi.

Berbeda dengan Oxisols, Ultisols bersifat lebih lekat dan lebih berat kalau diolah, karena mengandung mineral alumino-silikat lebih banyak. Air ditahan lebih kuat pada tanah Ultisols. Sifat fisiknya menyerupai Oxisols, jika didominasi mineral kaolinit. Bedanya adalah dengan adanya peningkatan liat pada horison argilik/kandik, pergerakan air menjadi lebih terhambat di tanah Ultisols. Hasil analisa tekstur pada tanah *Grossarenic Kandiodult* di Karta dicantumkan pada *Tabel 3.4*.

Kandungan pasir yang tinggi pada tanah tersebut menyebabkan jumlah pori yang berukuran besar lebih banyak dibandingkan jumlah pori yang berukuran kecil. Pori yang berukuran kecil berfungsi untuk menahan air, sedangkan pori yang berukuran besar merangsang pergerakan air dan udara. Kondisi ini mengakibatkan sebagian besar air hujan yang jatuh di atas permukaan tanah akan

cepat mengalir ke bawah, dan tidak sempat ditahan oleh tanah. Tanaman kemungkinan akan cepat mengalami kekeringan, karena sedikitnya cadangan air di dalam tanah, walaupun curah hujan yang jatuh cukup tinggi.

Masalah lain yang dihadapi adalah perbedaan daya perkolasi air pada lapisan atas dan lapisan bawah pada profil tanah tersebut. Karena kandungan liat yang meningkat pada lapisan di bawah 5 cm, maka kemungkinan air lebih mudah bergerak secara lateral di lapisan 0-5 cm. Aliran air yang bergerak ke bawah (vertikal) maupun ke samping (lateral) akan membawa serta unsur-unsur hara yang penting di dalam tanah tersebut. Bila kondisi tersebut dibiarkan terus menerus, tanah akan cepat mengalami pemiskinan. Partikel pasir kurang berperan dalam pengikatan unsur hara tanah. Secara kimia, kandungan liat yang rendah akan mengakibatkan rendahnya kapasitas tukar kation tanah tersebut.

Tabel 3.4 Tekstur tanah salah satu profil tanah di Karta

Kedalaman, cm	% Pasir	% Debu	% Liat
0 – 5	74	12	14
5 – 29	64	13	23
29 – 45	64	12	24
45 – 66	61	12	27
66 – 89	62	11	27
89 – 110	61	11	28
> 110	56	13	31

Sifat kimia

Tanah Ultisols maupun Oxisols yang didominasi mineral-mineral kaolinit, oksida besi dan aluminum, sehingga memiliki kapasitas tukar kation yang rendah. Data dalam Tabel 3.5 menunjukkan bahwa nilai pH-KCl selalu lebih rendah dari pH-H₂O. Perbedaan antara dua nilai pH ini biasanya dikaitkan dengan muatan total tanah. Jika pH-KCl lebih tinggi dari pH-H₂O, menunjukkan tanah tersebut mempunyai muatan total positif (kapasitas tukar anion lebih besar). Tanah dengan pH-KCl lebih rendah dari pH-H₂O, mempunyai muatan total negatif (kapasitas tukar kation lebih besar), seperti tanah di Karta tersebut. Walaupun nilai muatan total negatif, namun kapasitas tukar kation yang dihasilkan sangat rendah, karena kandungan liat yang rendah. Sumbangan muatan negatif dari bahan organik juga sangat rendah, sebagai akibat dari rendahnya kandungan bahan organik dalam tanah.

Dengan mempertimbangkan kebutuhan minimal untuk tanaman pangan, data tersebut menunjukkan bahwa tanah mempunyai masalah kekahatan unsur hara, terutama K, Ca dan Mg. Di lain pihak, kandungan Al dapat ditukar semakin meningkat pada lapisan tanah bawah (*Tabel 3.6*), dan tidak semua Al yang ada dalam tapak jerapan ini beracun bagi tanaman. Bentuk yang beracun bagi akar tanaman adalah Al_{monomeric} (Al³⁺, Al(OH)²⁺, Al(OH)₂⁺, Al(OH)₃⁰ dan Al(SO₄)⁺), dengan aktifitas yang semakin meningkat pada pH lebih rendah dari 5.5.

Tabel 3.5 Beberapa sifat kimia tanah di Karta

Kedalaman <i>cm</i>	pH		C _{org}	N _{tot} %	P _{Bray1} <i>mg/kg</i>	KTK pH7	Na	Ca	Mg	K
	H ₂ O	KCl								
0 – 5	4.5	4.0	1.73	0.14	28	7.4	0.66	4.8	2.25	0.75
5 – 29	4.6	3.8	0.43	0.06	17	6.5	0.21	1.9	0.45	0.12
29 – 45	4.7	3.8	0.38	0.04	11	8.1	0.32	2.4	0.3	0.08
45 – 66	4.7	3.8	0.18	0.03	6	7.3	0.37	2.5	0.3	0.10
66 – 89	4.8	3.8	tr	0.02	6	10.6	0.16	2.4	0.3	0.06
89 – 110	4.9	3.8	tr	tr	1	11.4	0.16	3.0	0.3	0.05
>110	4.8	3.8	tr	tr	1	23.6	0.18	2.7	0.3	0.08

Tabel 3.6 Tingkat keracunan Al pada tanah di daerah Karta

Kedalaman <i>cm</i>	pH H ₂ O	Al _{dd} <i>cmol_c kg⁻¹</i>	KTKE	Kejenuhan Al %	Al _{monomeric} <i>nm</i>
15 – 45	4.8	1.60	2.71	59	2.29

Data tersebut menunjukkan tingkat kejenuhan Al yang semakin meningkat pada lapisan tanah bawah, sampai mencapai lebih dari 50% KTK- efektif. Pada lapisan atas, tapak jerap kation masam bukan hanya diisi oleh Al, tetapi juga H, yang kemungkinan karena kandungan bahan organik yang relatif lebih tinggi. Keracunan Al akan semakin meningkat dengan meningkatnya kandungan mineral liat silikat 2:1. Tanah Ultisols mempunyai potensi keracunan Al yang lebih besar dibandingkan Oxisols.

3.4 Permasalahan

Berdasarkan fakta-fakta yang diuraikan dalam bagian sebelumnya, terungkap adanya beberapa permasalahan yang dihadapi petani dalam rangka penyelenggaraan usaha taninya. Dalam salah satu survei terhadap petani di kawasan Pakuan Ratu terungkap adanya beberapa masalah dan tingkat kesulitan yang dihadapi berdasarkan persepsi mereka yang mengusahakan beberapa jenis komoditas (Bab 1 Gambar 1.3). Berdasarkan hasil survei ini ternyata bahwa masalah menurut persepsi kebanyakan petani adalah hal-hal yang mengakibatkan penurunan atau kegagalan produksi secara langsung pada saat peristiwa itu terjadi, misalnya gangguan hama, penyakit, binatang liar dan gulma, kebakaran serta banjir dan kekeringan. Selain itu, juga disebutkan adanya gangguan yang tidak langsung berakibat pada penurunan atau kegagalan produksi, tetapi menyebabkan meningkatnya kebutuhan masukan atau biaya produksi. Yang termasuk dalam kategori ini, misalnya masalah penurunan kesuburan tanah dan erosi yang mengakibatkan kebutuhan pupuk bertambah banyak.

Dari hasil *indepth-interview* dan *focus-group discussion* dengan petani di kawasan Pakuan Ratu diperoleh informasi tentang berbagai permasalahan yang dihadapi mereka dan telah diuraikan dalam Bab 2.3. Mempertimbangkan persepsi petani dan kenyataan yang diuraikan dalam bab ini, maka uraian dan diskusi tentang permasalahan dibagi menjadi dua, yaitu permasalahan aktual dan permasalahan potensial. Permasalahan aktual adalah masalah yang nyata menjadi penghambat usaha pertanian pada saat ini, sehingga akibatnya dapat dirasakan secara langsung pada penurunan produksi atau kegagalan panen. Sedangkan permasalahan potensial merupakan permasalahan yang berakibat pada penurunan produksi dalam jangka panjang. Akibatnya akan dihadapi oleh petani apabila cara-cara pengelolaan pertanian yang dilakukan saat ini tidak diperbaiki. Uraian tentang permasalahan berikut ini hanya didasarkan pada fakta biofisik, sementara permasalahan yang berkaitan dengan kondisi sosial dan ekonomi dibahas dalam bagian yang lain.

3.4.1 Permasalahan aktual

Sebagaimana diuraikan, permasalahan aktual merupakan masalah yang dapat dilihat dan dirasakan oleh petani secara nyata yang mengancam produksi usaha tani yang sedang dilaksanakan oleh petani. Pada dasarnya ada 3 permasalahan aktual yang menyebabkan ancaman terhadap produksi komoditas petani, yaitu kemiskinan hara, kandungan bahan organik yang rendah dan kekeringan. Ketiga permasalahan itu makin diperparah dengan adanya permasalahan yang keempat yakni kedalaman tanah efektif atau kedalaman perakaran.

Kemiskinan Hara

Material di dalam profil tanah di kawasan ini banyak mengandung mineral kuarsa dan seskuioksida besi (Fe) dan aluminium (Al), sementara mineral-mineral lainnya amat sedikit. Berdasarkan hal ini ditambah beberapa ciri lainnya, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai *Ultisols* atau *Oxisols*. Mineral-mineral tersebut memiliki kapasitas menahan hara (KTK) yang rendah, demikian pula potensi kandungan hara rendah (*Tabel 3.5*).

Bila dibandingkan dengan pedoman umum untuk interpretasi hasil uji tanah (misalnya yang dikutip dari *IFA World Fertilizer Use Manual*, *Tabel 3.7*), maka kandungan unsur K, Ca dan Mg tanah Pakuan Ratu sangat rendah. Pada kondisi demikian, tanaman pada umumnya mengalami kekurangan unsur-unsur tersebut.

Dipihak lain kandungan unsur Al sangat tinggi, sehingga mengakibatkan terjadinya keracunan bagi tanaman yang tumbuh di daerah ini (*Tabel 3.6*). Terkikisnya lapisan tanah atas karena erosi akan menambah seriusnya masalah keracunan Al, karena lapisan bawah memiliki kandungan Al lebih tinggi.

Data pada *Tabel 3.5* menunjukkan bahwa kadar P pada kedalaman 0 - 45 cm termasuk tinggi sampai sangat tinggi, yang menurun drastis pada lapisan tanah

di bawahnya. Data sifat kimia ini diperoleh dari lahan yang baru dibuka dari hutan sekunder. Pada lahan yang sama setelah beberapa tahun ditanami pepohonan dan tanaman pangan ternyata kadar P menurun sampai 3 – 9 mg kg⁻¹ (Hairiah *et al.*, 1996), sehingga termasuk rendah sampai sangat rendah. Masalah kekurangan P juga semakin serius karena kandungan P di lapisan bawah lebih rendah dari pada lapisan tanah atas.

Akar tanaman adalah bagian tanaman yang pertama kali dipengaruhi oleh keracunan Al, oleh karena itu akar tanaman yang kurang tahan terhadap keracunan Al biasanya tidak mampu berkembang secara normal. Pada giliran berikutnya proses-proses yang melalui atau terjadi di akar akan dipengaruhi dan selanjutnya bagian-bagian lain juga tidak bisa terlepas dari pengaruh keracunan Al ini.

Tabel 3.7 Interpretasi hasil uji tanah untuk unsur makro dan unsur mikro

No	Unsur	Metode	Satuan	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
1	P	P-Olsen	mg kg ⁻¹	< 5	5 - 9	10 - 17	18 - 25	> 25
2	K	Mehlich	cmol kg ⁻¹	< 1.3	1.3 - 2.6	2.6 - 4.5	4.5 - 7.7	> 7.7
3	Mg	Mehlich	cmol kg ⁻¹	< 1.7	1.7 - 3.3	3.3 - 6.6	6.6 - 15	> 15
4	Mn	AAAc, Koreksi pH	mg kg ⁻¹	< 7 - 17		40 - 330		> 1860
5	Zn	DPTA	mg kg ⁻¹	< 0.3-0.4		0.7 - 3.0		> 6.7-13
6	Cu	AAAc + DPTA	mg kg ⁻¹	< 0.5-0.7		1.3 - 4.7		> 11-16
7	B	<i>Air Panas</i>	mg kg ⁻¹	< 0.2-0.3		0.3 - 1.3		> 2 - 3

Sumber: IFA World Fertilizer Use Manual (1992)

Kandungan bahan organik tanah rendah

Tanah-tanah pertanian di kawasan Pakuan Ratu memiliki kandungan bahan organik yang sangat rendah di lapisan atas (*Tabel 3.5*). Pada tanah yang masih tertutup vegetasi permanen (hutan), umumnya kadar bahan organik di lapisan atas masih sangat tinggi. Pembukaan hutan menjadi lahan pertanian mengakibatkan penurunan kadar bahan organik tanah dengan cepat. Hal ini disebabkan pelapukan (*mineralisasi*) bahan organik berlangsung sangat cepat, sebagai akibat tingginya suhu udara dan tanah dan curah hujan yang tinggi. Penurunan bahan organik di lapisan permukaan ini juga terjadi akibat pengangkutan keluar terhadap hasil panen secara besar-besaran tanpa diimbangi dengan pengembalian sisa-sisa panen dan pemasukan dari luar. Uraian lebih lanjut tentang dampak pengangkutan sisa panen terhadap status bahan organik tanah akan dibicarakan lebih rinci pada Bab 4.

Kekeringan

Kekeringan seringkali dikeluhkan petani menjadi penyebab kegagalan produksi berbagai tanaman pangan semusim dan bahkan juga tanaman tahunan. Kekeringan terjadi karena air di lapisan perakaran tidak tersedia selama periode tertentu. Air yang tersimpan dalam lapisan perakaran ini sebagian terbesar berasal dari air hujan yang masuk ke dalam tanah melalui proses infiltrasi. Ketersediaan air tanaman ditentukan oleh dua faktor utama, yaitu kapasitas tanah untuk menyimpan air (*porositas* dan *ketebalan lapisan perakaran*) dan distribusi curah hujan (*kontinuitas suplai air*). Walaupun curah hujan tahunan daerah ini tinggi tetapi tidak semua air hujan yang jatuh itu dapat ditampung dalam lapisan perakaran karena kapasitasnya sangat terbatas. Sebagian besar air mungkin akan meninggalkan lapisan tanah atau dikatakan “*hilang*” melalui aliran permukaan dan perkolasi (*drainasi*).

Data hujan harian yang dikumpulkan dari stasiun iklim Kotabumi mulai tahun 1967 dihitung dalam satuan hujan lima-harian dan kemudian masing-masing lima-harian secara individu dievaluasi untuk dikelompokkan menjadi *periode basah* atau *periode kering*. Secara berurutan lima-harian basah dan kering ini selama 34 tahun (kecuali 3 tahun yang tidak tersedia datanya) digambarkan dalam sebuah diagram balok di mana bagian hitam menunjukkan lima-harian basah dan bagian putih menunjukkan lima-harian kering (*Gambar 3.8*). Secara horisontal dapat dibaca ketersediaan air untuk setiap lima-harian yang berurutan selama setahun baik pada keadaan cukup air (blok hitam) maupun saat terjadi kekeringan (blok putih). Secara vertikal ditunjukkan pengulangan kejadian tersebut mulai dari tahun 1967 sampai dengan 1999.

Contoh Kasus 3.4 **Melihat musim di Pakuan Ratu**

Beberapa kejadian yang dapat *dibaca* dari *Gambar 3.8* sehubungan dengan ketersediaan air bagi tanaman di Pakuan Ratu, adalah:

- Permulaan musim hujan umumnya jatuh pada bulan Nopember, tetapi tidak jarang bahwa awal musim hujan sudah terjadi pada bulan September bahkan bulan Agustus.
- Musim kering kebanyakan sudah terjadi pada bulan Juni, tetapi pernah juga terjadi pada bulan April dan Mei.
- Yang mempunyai peluang paling besar terjadi kekeringan adalah pada bulan Agustus, kemudian Juli dan September.
- Lamanya periode kering beragam mulai dari satu bulan (1978, 1979) sampai hampir 6 bulan (1994, 1997).
- Selama 31 tahun pengamatan (*ada data 3 tahun yang tidak dipakai*) terjadi musim kering panjang (sekitar 5 bulan atau lebih) sebanyak 8 kali (26%).
- Musim kering yang kurang dari dua bulan atau dapat dikatakan sebagai tahun basah sebanyak 9 kali (29%).

Berdasarkan analisis dan pengalaman petani yang dapat *dilihat* dan *dibaca* dengan bantuan Gambar 3.8 dan Contoh Kasus 3.4, ada beberapa permasalahan yang sering diungkapkan oleh petani menyangkut ketersediaan air atau kekeringan adalah:

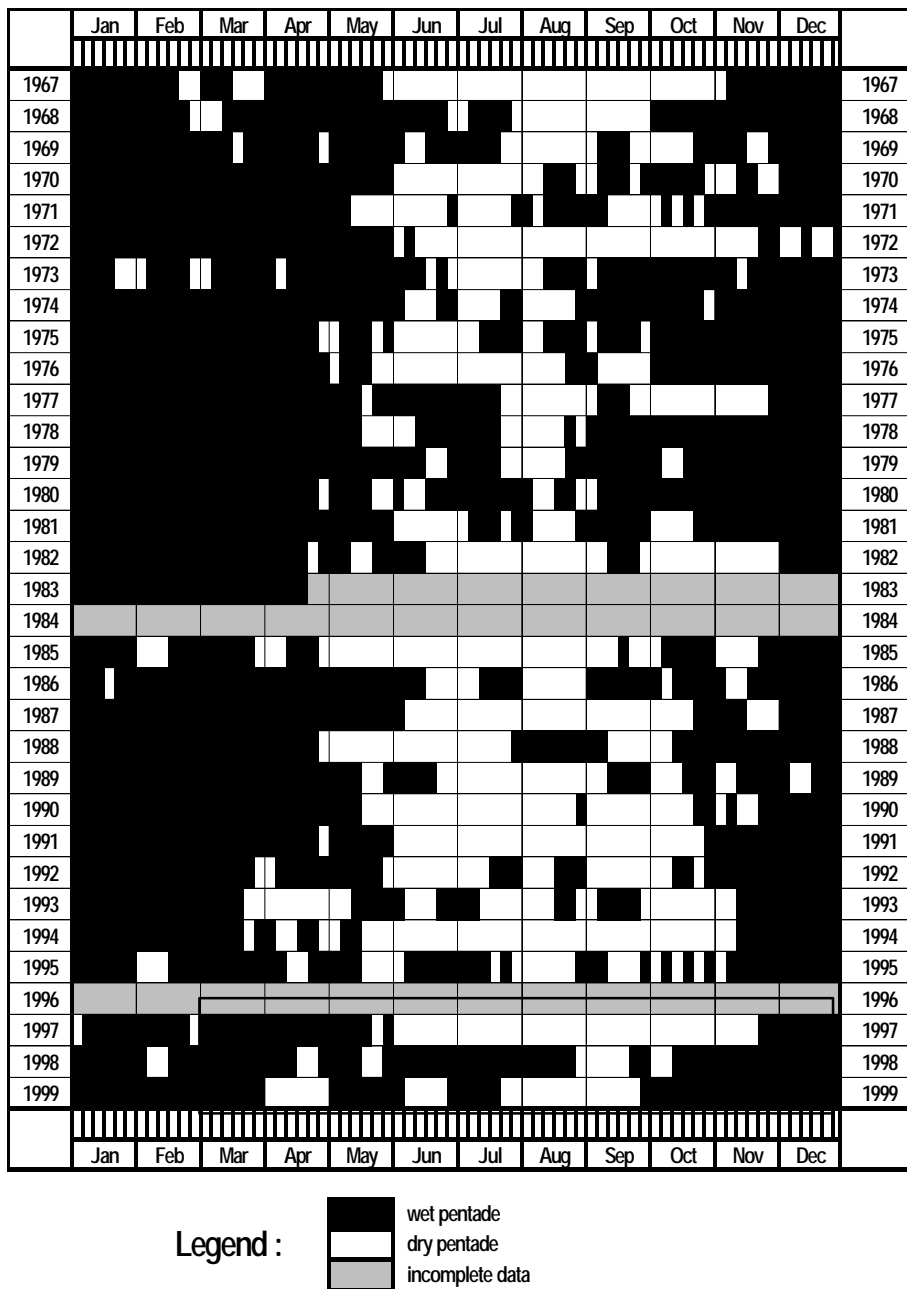
1. Permulaan musim hujan setiap tahunnya selalu berubah-ubah, sehingga menyulitkan petani dalam menentukan mulainya musim tanam.
2. Lamanya periode basah atau musim hujan setiap tahunnya tidak selalu sama (*mulai dari 3 bulan sampai 10 bulan*), demikian pula lamanya periode kering juga berubah-ubah. Hal ini menyulitkan petani dalam memilih jenis tanaman dan menentukan periode tanamnya.
3. Seringkali terjadi periode kering yang tidak tertentu lamanya di tengah-tengah musim hujan, di mana kejadian ini dapat menyebabkan gangguan terhadap pertumbuhan tanaman semusim sampai menyebabkan kematian.
4. Peluang munculnya tahun basah atau tahun kering yang hampir sama menyulitkan antisipasi ke depan.

Data ini memberi pelajaran bagi kita bahwa masalah yang berhubungan dengan ketersediaan air tidak sesederhana sebagaimana yang sering digambarkan, tetapi juga menyangkut beberapa aspek lain misalnya dimensi waktu sehingga memasukkan faktor ketidak-pastian terhadap *frekuensi* (seringnya kekeringan) dan *durasi* (lamanya periode kekeringan).

Dangkalnya lapisan tanah

Sebaran perakaran tanaman pada umumnya terbatas pada lapisan tanah bagian atas saja. Gambar 3.9 menunjukkan pola distribusi perakaran gamal atau *Gliricidia sepium* (A) dan petaian atau *Peltophorum dasyrrachis* (B) pada umur sekitar 4 tahun yang ditanam secara tumpangsari dengan jagung pada sistem budidaya pagar. Barisan gamal ditanam berselang seling dengan barisan petaian, dengan jarak antar baris 4 m, jagung ditanam di antara ke dua baris. Akar gamal menyebar kesamping sejauh 4 m pada kedalaman sekitar 20 cm saja, sedang akar petaian mampu menembus tanah hingga kedalaman 50 cm. Sebaran akar jagung (akar serabut) juga dijumpai pada kedalaman yang sama seperti pada tanaman pagar.

3 Karakteristik Tanah Masam



Gambar 3.8 Ketersediaan air bagi tanaman berdasarkan analisis data hujan lima-harian di Pakuan Ratu untuk periode 1967-1999.

Dangkalnya sebaran perakaran pada tanah-tanah masam biasanya disebabkan oleh adanya dua macam hambatan, yaitu:

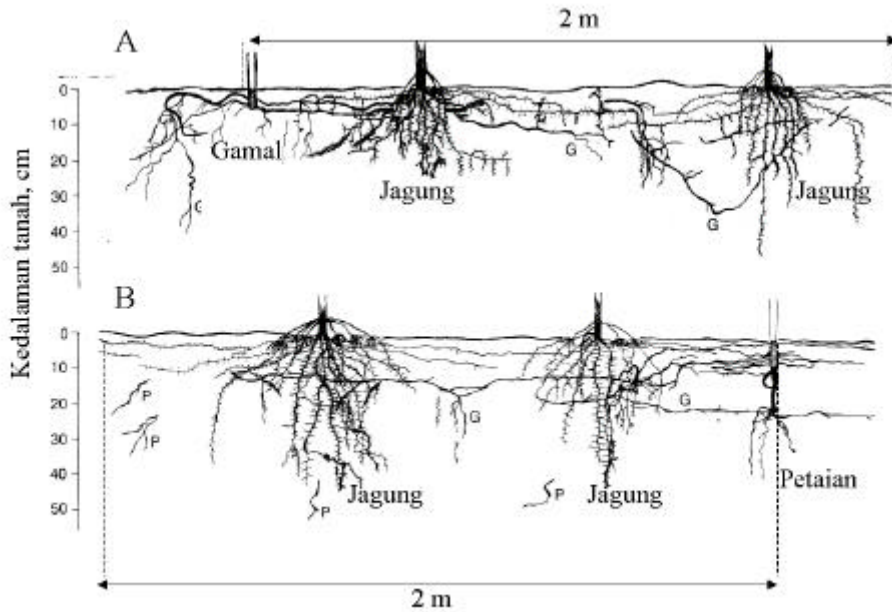
1. Hambatan pertama berupa penghalang fisik dengan adanya lapisan keras yang sulit ditembus akar misalnya lapisan kerikil (*krokos*). Lapisan krokos di kawasan Pakuan Ratu dijumpai pada berbagai kedalaman, bahkan kadang-kadang ada yang muncul di permukaan tanah. Penyebab hambatan yang lain adalah air tanah sehingga secara fisik akar tidak bisa menembusnya (*Gambar 3.7*).
2. Hambatan kedua yang seringkali ditemui yaitu adanya *lapisan beracun* pada lapisan tanah bawah, karena tanah mengandung unsur Al (*aluminium*) sangat banyak. Lapisan ini tidak kelihatan, tetapi dapat dibuktikan dengan mengukur kadar Al-nya di laboratorium (*Tabel 3.6*). Gejala keracunan Al mudah dikenali dengan mengamati perakarannya, karena akar adalah bagian tanaman yang langsung terpengaruh oleh keracunan Al (bukan pada tajuknya). Dengan demikian tanaman yang tidak tahan terhadap Al akarnya akan menghindari lapisan ini sehingga perakarannya menjadi dangkal. Namun demikian masih ada tanaman-tanaman yang tahan (toleran) terhadap tingginya kadar Al ini sehingga akarnya bisa masuk sampai dalam.

Tanda-tanda morfologi akar tanaman yang mengalami keracunan Al adalah sebagai berikut:

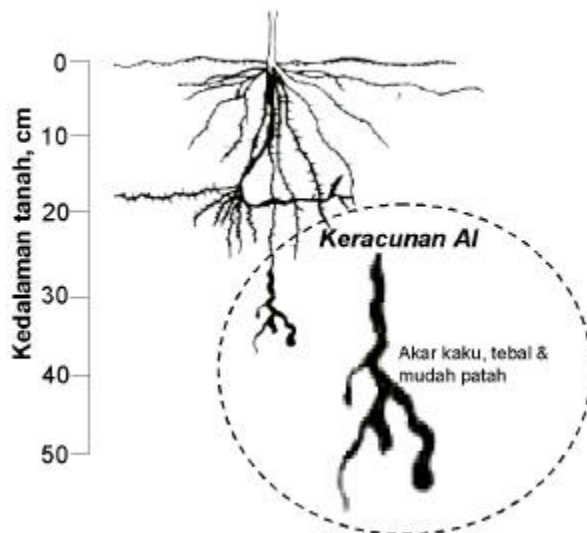
- a. Membesarnya akar, sehingga garis-tengahnya menjadi lebih besar dari biasanya. Akar menjadi lebih pendek dan kaku seperti kawat.
- b. Akar mudah patah
- c. Membengkaknya ujung-ujung akar
- d. Akar tanaman tidak dapat berfungsi dengan sempurna dalam menyerap air dan unsur hara (pengaruh tidak langsung).

Gambar 3.10 adalah gambar skematis akar jagung di lapangan, akar tumbuh pendek dan membengkak serta mudah patah. Membesarnya diameter akar tanaman ini akan mengurangi luas permukaan akar sehingga jumlah serapan air dan hara juga akan berkurang.

3 Karakteristik Tanah Masam

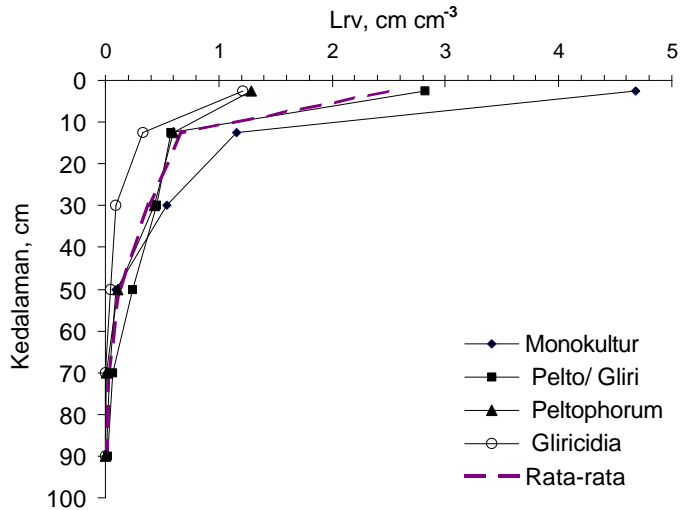


Gambar 3.9 Sebaran akar tanaman semusim (jagung) dan tanaman tahunan (gamal dan petaian) pada tanah masam di Pakuan Ratu (Hairiah *et al.*, 1992).



Gambar 3.10 Distribusi perakaran jagung pada tanah masam: Keracunan Al pada akar jagung ditunjukkan oleh pembesaran diameter akar, terutama pada lapisan bawah (Van Noordwijk *et al.*, 1992)

Variabel yang paling sensitif terhadap keracunan Al adalah *panjang akar total* dan *diameter akar*. Berikut disajikan contoh hasil pengukuran panjang akar total jagung pada tanah masam pada berbagai pola tanam yaitu: monokultur dan pada sistem budi daya pagar (tanaman pagarnya adalah petaian berselang-seling dengan gamal, petaian saja, dan gamal saja) (*Gambar 3.11*).



Gambar 3.11 Total panjang akar (Lrv) jagung pada sistem monokultur dan sistem budidaya pagar (tanaman pagar adalah petaian berselang-seling dengan gamal, petaian saja, dan gamal saja) pada berbagai kedalaman di Pakuan Ratu (Suprayogo, 2000)

Panjang akar total jagung semakin berkurang dengan bertambahnya kedalaman tanah pada semua sistem pola tanam, dan sekitar 80 – 85% dari total panjang akar secara keseluruhan terdapat pada 20 cm lapisan tanah paling atas. Panjang akar total tanaman jagung pada sistem monokultur lebih tinggi dari pada sistem budi daya pagar.

Hambatan terhadap perkembangan akar yang dinyatakan melalui dangkalnya lapisan tanah, menyebabkan permasalahan tanah masam khususnya yang menyangkut ketersediaan unsur hara dan air menjadi semakin serius. Terbatasnya penyebaran akar menyebabkan jumlah unsur hara dan air yang dapat dijangkau oleh akar semakin sedikit. Dan kapasitas tanah untuk menyediakan unsur hara dan air sangat dipengaruhi oleh kedalaman tanah ini.

Berikut ini disajikan contoh perhitungan potensi tanah dalam menyediakan air dan unsur hara K (kalium) yang didasarkan pada data hasil analisis tanah yang diambil dari profil tanah di Karta, Lampung Utara. Kedalaman tanah ditentukan oleh perakaran tanaman yang didasarkan pada lapisan di mana panjang akar total mencapai 80% atau lebih. Dengan demikian untuk tanaman padi mencapai kedalaman 40 cm sementara tanaman jagung hanya mencapai kedalaman 20 cm.

Dengan mengambil beberapa asumsi seperti dalam Tabel 3.8., ternyata bahwa kemampuan tanah untuk menyediakan air bagi padi dapat berlangsung selama 16 hari, sedang untuk jagung hanya cukup untuk 8 hari saja. Demikian pula kemampuan tanah untuk menyediakan unsur K bisa memenuhi 30% dari total kebutuhan padi, tetapi hanya 20% bagi kebutuhan jagung. Atau bila dihitung lamanya penyediaan unsur K dalam tanah untuk tanaman padi yang memiliki kedalaman perakaran 40 cm bisa mencapai 30 hari dan untuk jagung yang memiliki kedalaman perakaran 20 cm hanya tersedia untuk selama 20 hari saja.

Tabel 3.8. Contoh Perhitungan Kapasitas Tanah untuk menyediakan air dan K yang dipengaruhi oleh kedalaman perakaran tanaman berdasarkan data dan asumsi di kawasan Pakuan Ratu

	Variabel	Padi	Jagung
AKAR	Kedalaman Tanah (85% panjang akar total)	40 cm	20 cm
	Berat Isi Tanah	1.100 kg m ⁻³	1.100 kg m ⁻³
Data	Volume Tanah (per ha)	4.000 m ³	2.000 m ³
Dasar	Berat Padatan Tanah (per ha)	4.400.000 kg	2.200.000 kg
Tanah	Kadar Air Tersedia	0,20 m ³ m ⁻³	0,20 m ³ m ⁻³
	Kadar K tersedia rata-rata	6,85 mg kg ⁻¹	8,91 mg kg ⁻¹
	Kadar Air Tersedia	0,20 m ³ m ⁻³	0,20 m ³ m ⁻³
	Kapasitas menahan Air Tersedia	80 mm	40 mm
	Kebutuhan Air per hari (mm)	5 mm hari ⁻¹	5 mm hari ⁻¹
	Durasi Ketersediaan Air	16 hari	8 hari
AIR	Interpretasi	Bila tanah penuh dengan air (habis hujan), maka baru 16 hari kemudian mulai terjadi kekeringan bilamana selama itu tidak ada hujan sama sekali	Bila tanah penuh dengan air (habis hujan), maka baru 8 hari kemudian mulai terjadi kekeringan bilamana selama itu tidak ada hujan sama sekali
	Kadar K tersedia rata-rata	6,85 mg kg ⁻¹	8,91 mg kg ⁻¹
	Potensi K tersedia	30,14 kg	19,60 kg
	Serapan K per ha (rata-rata)	1 kg hari ⁻¹	1 kg hari ⁻¹
	Durasi Ketersediaan K tanah	30 hari	19 hari
K	Interpretasi	Bila tanah tidak diberi pupuk K, maka tanah per ha-nya mampu menyediakan 30% saja dari kebutuhan padi selama satu musim	Bila tanah tidak diberi pupuk K, maka dari tanah hanya mampu menyediakan 20% saja dari total kebutuhan jagung selama satu musim

Gulma Imperata cylindrica (alang-alang)

Salah satu permasalahan yang juga secara nyata dihadapi petani adalah cepatnya pertumbuhan alang-alang (*Imperata cylindrica*) pada lahan yang terbuka, baik secara keseluruhan maupun di sela-sela tanaman yang ada. Hal terakhir ini bisa terjadi karena pengelolaan yang kurang tepat atau karena pertumbuhan tanaman yang kurang bagus akibat kesuburan tanah setempat yang terus menerus merosot. Disamping sebagai gulma yang dapat menurunkan produksi, alang-alang juga sangat mudah terbakar apabila timbul kebakaran disekitarnya (Gambar 3.12).



Gambar 3.12 Permukaan tanah yang terbuka di antara barisan kelapa sawit ditumbuhi alang-alang, bahaya kebakaran siap menanti! (Foto: Kurniatun Hairiah)



3.4.2 Permasalahan potensial

Permasalahan kedalaman tanah dan kemiskinan hara pada wilayah ini sudah dijumpai dan terus akan terjadi sehingga mungkin dapat lebih parah lagi. Proses pendangkalan dan pemiskinan hara terus terjadi karena penyebab utama yaitu aliran air yang menghanyutkan material tanah senantiasa terjadi. Aliran air melalui permukaan tanah secara potensial menyebabkan erosi, sementara aliran gravitasi ke lapisan bawah akan melarutkan dan membawa unsur hara yang ada di lapisan atas ke bagian yang lebih dalam. Peristiwa ini terus-menerus terjadi, akibatnya baru disadari oleh para petani apabila kerusakan tanah sudah dalam keadaan

parah. Walaupun dalam survei beberapa orang petani menyebutkan permasalahan ini, namun upaya-upaya nyata untuk mengontrolnya tidak tampak. Sehingga dalam membahas permasalahan ini dimasukkan dalam masalah potensial. Ada dua permasalahan potensial yang dalam jangka panjang menyebabkan degradasi atau kerusakan lahan yaitu erosi dan pencucian unsur hara.

Erosi

Erosi sangat potensial terjadi di wilayah ini karena adanya faktor-faktor penyebab erosi yaitu curah hujan yang tinggi, kelerengan permukaan tanah dan sifat-sifat fisik tanah (mudah terurai – dispersi). Faktor lain yang mendorong semakin besarnya erosi adalah penggunaan dan pengelolaan lahan yang cenderung mengabaikan bahaya erosi ini. Mengingat faktor penyebab utama adalah kecepatan aliran permukaan yang terjadi akibat curah hujan yang tinggi dan kemiringan lahan serta sifat fisik tanah, maka ketiga penyebab utama ini harus bisa dipatahkan melalui pengelolaan lahan. Sayangnya, sebagian besar penggunaan tanah di wilayah Pakuan Ratu ini tidak efektif dalam mematahkan aliran air yang bersifat mengikis permukaan tanah tersebut (Gambar 3.13).



Gambar 3.13 Erosi, umum dijumpai di kawasan Pakuan Ratu. Pemulihan tanah ini memerlukan waktu ribuan tahun (Foto: Kurniatun Hairiah)

Lahan pertanian di daerah ini biasanya dibuka dengan jalan tebang dan bakar seluruh vegetasi hutan sekunder ataupun semak belukar, kemudian ditanami tanaman pangan. Teknik pembukaan lahan ini menyebabkan permukaan tanah "terbuka" untuk beberapa waktu kecuali bila ada usaha menanam tanaman yang pertumbuhannya cepat. Lahan yang terbuka terutama pada tempat-tempat berlereng akan lebih mudah tererosi dan banyak partikel tanah dan hara terangkut oleh limpasan permukaan. Sedangkan untuk tempat-tempat yang datar pencucian

hara ke lapisan yang lebih dalam akan lebih banyak terjadi. Besar kecilnya tingkat erosi tanah ini juga ditentukan oleh tingkat 'keterbukaan lahan', dan tingkat keterbukaan lahan ini sangat dipengaruhi oleh teknik pembukaan. Gambar 3.14 menunjukkan sistem pembukaan lahan yang dilakukan oleh petani lokal yang membuka lahan secara manual yaitu tebang dan bakar semua tunggul pohon dan batang besar pohon ditinggalkan di lapangan. Setelah itu lahan ditanami dengan tanaman pangan dan sisa panen dikembalikan ke dalam tanah. Permukaan tanah pada sistem pembukaan lahan ini lebih kasar bila dibandingkan dengan cara pembukaan secara mekanik (dengan menggunakan buldozer) yang biasanya dilakukan oleh perkebunan besar (Gambar 3.15). Pada cara yang terakhir ini selain menghadapi masalah erosi, masalah keracunan Al akan semakin serius karena adanya pembalikan lapisan tanah. Tanah lapisan bawah yang berwarna terang dan mengandung Al lebih tinggi akan muncul ke permukaan, sehingga akar tanaman akan mengalami keracunan. Pertumbuhan tanaman terhambat sehingga masalah erosi akan menjadi lebih besar.



Gambar 3.14 Pembukaan lahan pertanian secara manual dengan jalan tebang dan bakar yang umum dilakukan oleh petani di daerah Pakuan Ratu. Lahan segera ditanami padi, dan sisa panen dikembalikan ke permukaan tanah, dan bibit pohon karet ditanam (Foto: Meine van Noordwijk).

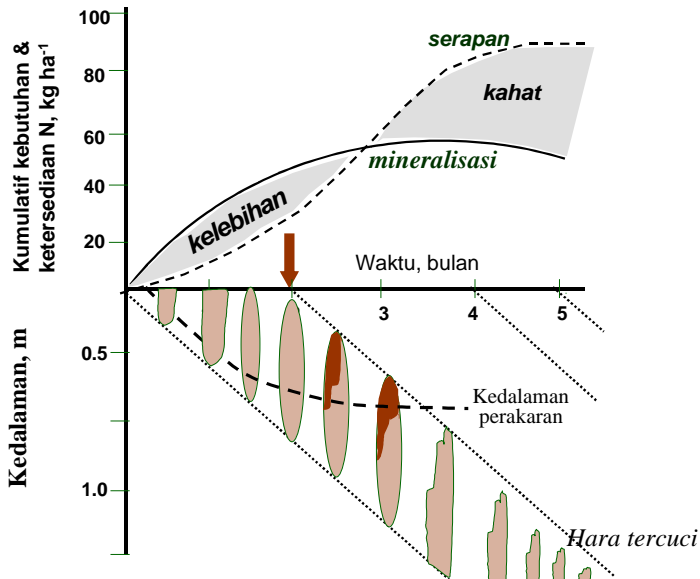


Gambar 3.15 Pembukaan lahan perkebunan dalam skala besar dengan cara tebang, bakar dan buldozer untuk membersihkan dan meratakan permukaan tanah dari tunggul. Warna tanah terang menunjukkan munculnya tanah lapisan bawah ke permukaan (Foto: Meine van Noordwijk).

Pencucian unsur hara

Curah hujan yang tinggi selain menyebabkan derasnya limpasan di permukaan ternyata sebagian memasuki lapisan-lapisan tanah melalui rongga-rongga atau pori-pori tanah menuju ke lapisan yang lebih dalam. Selama mengalir melalui pori-pori tanah air ini melarutkan unsur apa saja yang ada di dalamnya dan bahkan mampu melepaskan unsur yang terikat oleh permukaan padatan tanah. Akibatnya, banyak unsur unsur hara yang terbawa aliran air dari lapisan atas ke lapisan yang lebih dalam. Unsur-unsur yang yang semestinya dapat diserap oleh akar tanaman menjauh dari jangkauan akar sehingga tanaman tidak bisa memanfaatkannya (Gambar 3.16). Hal ini lebih parah lagi bila pertumbuhan akar ke dalam juga dibatasi oleh adanya lapisan-lapisan penghambat atau keracunan Al. Perpindahan unsur hara ke lapisan yang lebih dalam ini disebut sebagai pencucian (*leaching*).

3 Karakteristik Tanah Masam



Gambar 3.16 Skematis sinkronisasi yang rendah antara saat ketersediaan hara dan saat tanam membutuhkannya. Kelebihan air dan hara bergerak ke lapisan bawah sampai di luar batas jangkauan akar tanaman. Pemilihan tanaman yang berperakaran dalam akan mengurangi jumlah hara yang tercuci ke lapisan yang lebih dalam.

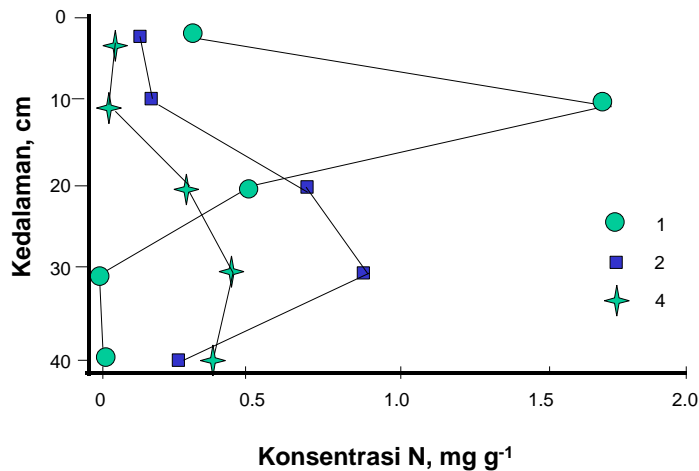
Curah hujan di daerah ini termasuk sangat tinggi yaitu antara 1.510 – 3.385 mm per tahun dengan rata-rata 2.500 mm per tahun. Sekitar 80% dari total hujan tersebut umumnya terjadi dalam waktu 5 – 6 bulan saja, sehingga dapat diperhitungkan bahwa pada saat terjadi hujan intensitasnya sangat tinggi. Mengingat kapasitas menyimpan air tanah terbatas, maka sebagian besar dari hujan ini terus mengalir ke lapisan yang lebih bawah atau mengalir di permukaan. Pada kasus pertama, aliran air ke lapisan bawah akibat gravitasi menyebabkan unsur-unsur yang terlarut dalam air ikut serta mengalir ke lapisan yang lebih dalam (tercuci). Sementara pada kasus kedua, kelebihan air di permukaan tanah menyebabkan timbulnya aliran permukaan dan membawa serta material tanah ke tempat lain sebagai erosi. Studi kasus 3.5 memberikan contoh adanya pencucian N ke lapisan bawah (Van Noordwijk, 1992).

Hasil penelitian Suprayogo (2000) di Pakuan Ratu menunjukkan bahwa kehilangan air melalui “drainase dalam” sebanyak >50% dari total hujan yang terjadi pada petak yang ditanami jagung dan kacang tanah dengan pola tanam yang melibatkan pepohonan sebagai tanaman pagar selama satu musim tanam (Januari-April 1998). Bersamaan dengan aliran air tersebut terbawa juga unsur N yang besarnya bervariasi antara 3 sampai 65 kg ha⁻¹. Unsur N tersebut sebagian besar berasal dari pupuk urea yang diberikan pada tanaman sebanyak 90 kg N ha⁻¹.

Jadi kehilangan unsur N dari pupuk yang terjadi selama satu musim tanam (jagung dan kacang tanah) berkisar antara 3 sampai 72%.

Contoh kasus 3.5 Pencucian N ke lapisan bawah

Percobaan sederhana di lakukan di lapangan (setelah 1 jam turun hujan). Urea ditambahkan ke dalam tanah melalui tabung PVC, dan ditambah air. Jumlah air yang diberikan adalah 1, 2 dan 4 liter yang setara dengan 130, 260 dan 520 mm hujan. Satu jam kemudian tanah di bawah pipa diambil dan dianalisis kandungan N nya. Hasilnya menunjukkan bahwa N yang ditambahkan telah bergerak ke lapisan tanah lebih dalam setelah adanya penambahan air Gambar 3.17. Semakin sedikit jumlah air yang ditambahkan maka semakin sedikit pula N yang dijumpai pada lapisan dalam.



Gambar 3.17 Konsentrasi N pada berbagai kedalaman dalam profil tanah pada 1 jam setelah penambahan air (Jumlah air yang diberikan (mm hujan): 1 ~ 130; 2 ~ 260 dan 4 ~ 520 mm hujan) (van Noordwijk *et. al.*, 1992).

Berdasarkan uraian di atas dan contoh-contoh studi kasus yang ada maka dapat disimpulkan bahwa pada prinsipnya penyebab utama timbulnya masalah kesuburan tanah pada tanah masam adalah: Adanya curah hujan dan kecepatan mineralisasi yang tinggi di daerah tropis, menyebabkan rendahnya sinkronisasi antara saat ketersediaan air, hara dengan saat tanaman membutuhkannya sehingga banyak air dan hara hilang percuma ke lapisan dalam. Dengan bekal pengetahuan yang cukup tentang penyebab rendahnya kesuburan tanah dan proses-proses yang terjadi dalam tanah akan sangat membantu penyuluh atau pihak terkait lainnya dalam memperbaiki strategi pengelolaan kesuburan tanah sesuai dengan kondisi setempat. Beberapa usaha pemecahan masalah kesuburan tanah masam ini akan dibicarakan secara rinci pada Bab 4.

4 Pemecahan masalah: upaya menuju pertanian berkelanjutan

4.1 Apa yang dimaksud dengan sistem pertanian yang berkelanjutan?

Definisi tentang sistem pertanian yang berkelanjutan (*sustainability*) telah banyak dikemukakan oleh berbagai pihak, sehingga perlu ada persamaan persepsi di antara para pembaca buku ini mengenai istilah “*berkelanjutan*”. Oleh karena itu perlu adanya suatu kriteria yang disepakati bersama untuk menentukan apakah suatu sistem pola tanam yang dilaksanakan telah memenuhi tingkat berkelanjutan. Salah satu kriteria “*sistem tanam yang berkelanjutan*” yang diusulkan dalam buku ini disajikan pada *Tabel 4.1* (Van der Heide *et al.*, 1992).

Tabel 4.1 Kriteria berkelanjutan dari suatu perkembangan pola tanam, dengan menitik-beratkan pada usaha pengendalian masalah lingkungan pada tingkat lokal, regional dan nasional/global.

Tingkat lokal (petani)

- A. Dapat mempertahankan sumber alam sebagai penunjang produksi tanaman untuk jangka panjang, dengan cara:
 - Mengontrol erosi dan memperbaiki struktur tanah
 - Mempertahankan kesuburan tanah dengan cara menjaga keseimbangan hara
 - Mengusahakan diversifikasi tanaman di lahannya
- B. Dapat mempertahankan produktivitas lahan dengan tenaga kerja yang cukup:
 - Swa-sembada penyediaan pangan, kayu bakar dan hasil sampingan lainnya
- C. Dapat mengatasi risiko gagal panen akibat musim yang kurang cocok, hama, penyakit, gulma dan turunnya harga pasaran, melalui :
 - Mempertahankan diversifikasi (setiap komponen dengan kelebihanannya masing-masing)
 - Mampu bertahan bila mengalami kegagalan dalam produksi
- D. Dapat menyediakan dan memberikan peluang untuk perbaikan dan pengembangan:
 - Penelitian pada tingkat petani untuk mendapatkan teknologi yang dibutuhkan
 - Paket teknologi yang cocok untuk berbagai kondisi

Tingkat Regional (desa)

- E. Tidak ada efek negatif terhadap lingkungan, misalnya:
 - Tidak ada erosi atau pengendapan dan pendangkalan pada sungai dan danau
 - Tidak ada pencemaran air tanah maupun air permukaan
 - Tidak terjadi pencemaran yang berkaitan dengan agroindustri
- F. Tidak terdapat '*kelaparan*' tanah (yang berkaitan dengan A dan B):
 - Tidak ada perambahan terhadap sumber daya hutan dan suaka alam

Tingkat Nasional/Global

- G. Tidak ada ketergantungan terhadap sarana produksi yang berasal dari industri ataupun bahan import
- H. Tidak menimbulkan masalah emisi gas yang dapat merubah komponen iklim.

Berdasarkan kriteria yang dikemukakan Van der Heide *et al.*, 1992 (*Tabel 4.1*), suatu sistem pengelolaan tanah masam dapat dikatakan berkelanjutan atau *sustainable* apabila memenuhi beberapa tanda berikut:

1. Menekan penurunan produksi tanaman dari waktu ke waktu
2. Menekan gangguan gulma
3. Menekan serangan hama dan penyakit
4. Menekan erosi tanah
5. Mempertahankan keberagaman tanaman (diversifikasi)

Seperti yang telah diuraikan pada Bab 3 bahwa pada prinsipnya ada 4 masalah aktual utama pada tanah masam yaitu rendahnya kadar bahan organik tanah dan kadar unsur hara, dangkalnya perakaran tanaman, kekeringan, gangguan gulma alang-alang (*Imperata cylindrica*) serta diperparah oleh erosi dan pencucian unsur hara. Masalah-masalah tersebut ini seringkali menyulitkan suatu usaha tani untuk mencapai produksi yang tinggi secara berkelanjutan. Tingkat produksi yang tinggi dapat dicapai melalui berbagai upaya yang dapat mempertahankan kesuburan tanah yakni dengan penerapan sistem pengelolaan yang tepat.

Salah satu cara pengelolaan yang terbukti dapat mempertahankan kesuburan tanah-tanah masam adalah dengan menanam tanaman tahunan (pepohonan) bersama-sama dengan tanaman semusim dalam sebidang lahan yang sama (***kebun campuran***, lihat bab 2 gambar 2.3). Upaya-upaya pemecahan masalah yang ditujukan untuk mendapat produksi yang tinggi secara berkelanjutan seharusnya dilakukan tanpa mengakibatkan kerusakan (*degradasi*) pada sumberdaya lahan. Dalam hal ini perlu diperhatikan fungsi tanah sebagai media tumbuh tanaman dan fungsi tanaman dalam meminimalkan kehilangan tanah, air dan hara.

Pengembangan pertanian pada umumnya terpusat pada usaha intensifikasi produksi pertanian dan upaya mengatasi masalah lingkungan yang menjadi faktor pembatas pertumbuhan tanaman. Upaya-upaya tersebut tanpa disadari telah menciptakan permasalahan lingkungan baru, sehingga masalah yang tadinya berskala lokal atau regional meningkat menjadi masalah nasional atau global yang akan mempengaruhi keberlanjutan produksi tanaman.

4.2 Cara-cara penanggulangan masalah kesuburan tanah masam

Pada saat ini banyak macam usaha pengelolaan tanah masam yang dapat ditemukan di berbagai tempat, di mana masing-masing cara berkembang sesuai dengan kemampuan dan kondisi setempat. Upaya-upaya pengelolaan tanah

ditujukan untuk menangani masalah-masalah yang berkaitan dengan keberlanjutan suatu sistem usahatani, yaitu mempertahankan produksi tanaman dari waktu ke waktu, mengontrol erosi dan mengatasi serangan hama, penyakit dan gulma (van der Heide *et al.*, 1992).

Pada prinsipnya ada tiga kelompok cara penanganan masalah tanah masam yang berhubungan dengan pengelolaan kesuburan tanah dan pengendalian gulma di tingkat masyarakat, yaitu cara kimia, cara fisik-mekanik dan cara biologi. Masing-masing cara memiliki kelebihan dan kekurangan, sehingga dalam praktek ketiga cara tersebut seringkali diterapkan secara bersama-sama.

4.2.1 Cara kimia

Cara kimia merupakan salah satu upaya pemecahan masalah kesuburan tanah dengan menggunakan bahan-bahan kimia buatan. Beberapa upaya yang sudah dikenal adalah pengapuran, pemupukan, dan penyemprotan herbisida.

A. Pengapuran

Pengapuran merupakan upaya pemberian bahan kapur ke dalam tanah masam dengan tujuan untuk:

- a) Menaikkan pH tanah
Nilai pH tanah dinaikkan sampai pada tingkat mana Al tidak bersifat racun lagi bagi tanaman dan unsur hara tersedia dalam kondisi yang seimbang di dalam tanah. Peningkatan pH tanah yang terjadi sebagai akibat dari pemberian kapur, tidak dapat bertahan lama, karena tanah mempunyai sistem penyangga, yang menyebabkan pH akan kembali ke nilai semula setelah beberapa waktu berselang.
- b) Meningkatkan Kapasitas Tukar Kation (KTK)
KTK meningkat sebagai akibat dari peningkatan pH tanah. Namun peningkatan KTK ini juga bersifat tidak tetap, karena sistem penyangga pH tanah tersebut di atas.
- c) Menetralkan Al yang meracuni tanaman.
Karena unsur Ca bersifat tidak mudah bergerak, maka kapur harus dibenamkan sampai mencapai kedalaman lapisan tanah yang mempunyai konsentrasi Al tinggi. Hal ini agak sulit dilakukan di lapangan, karena dibutuhkan tenaga dalam jumlah banyak dan menimbulkan masalah baru yaitu pemadatan tanah. Alternatif lain adalah menambahkan dolomit ($\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)_2$) yang lebih mudah bergerak, sehingga mampu mencapai lapisan tanah bawah dan menetralkan Al.
Pemberian kapur seperti ini memerlukan pertimbangan yang seksama mengingat pemberian Ca dan Mg akan mengganggu keseimbangan unsur hara yang lain. Tanaman dapat tumbuh baik, jika terdapat nisbah Ca/Mg/K yang tepat di dalam tanah. Penambahan Ca atau Mg seringkali malah mengakibatkan tanaman menunjukkan gejala kekurangan K, walaupun jumlah K sebenarnya sudah cukup di dalam tanah. Masalah ini menjadi semakin sulit

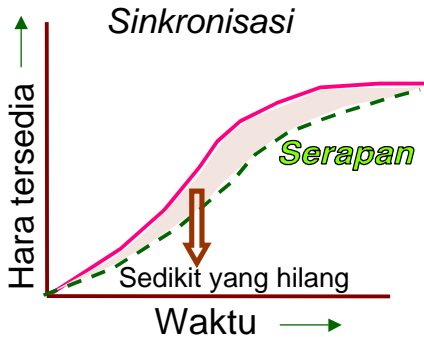
dipecahkan, jika pada awalnya sudah terjadi kahat unsur K pada tanah tersebut.

B. Pemupukan: penambahan unsur hara

Pemupukan merupakan jalan termudah dan tercepat dalam menangani masalah kahat hara, namun bila kurang memperhatikan kaidah-kaidah pemupukan, pupuk yang diberikan juga akan hilang percuma. Pada saat ini sudah diketahui secara luas bahwa tanah-tanah pertanian di Indonesia terutama tanah masam kahat unsur nitrogen (N), fosfor (P) dan kalium (K). Oleh karena itu petani biasanya memberikan pupuk N, P, K secara sendiri-sendiri atau kombinasi dari ketiganya. Pupuk N mudah teroksidasi, sehingga cepat menguap atau tercuci sebelum tanaman menyerap seluruhnya. Pupuk P diperlukan dalam jumlah banyak karena selain untuk memenuhi kebutuhan tanaman juga untuk menutup kompleks pertukaran mineral tanah agar selalu dapat tersedia dalam larutan tanah. Pemupukan K atau unsur hara lain dalam bentuk kation, akan banyak yang hilang kalau diberikan sekaligus, karena tanah masam hanya mempunyai daya ikat kation yang sangat terbatas (nilai KTK tanah-tanah masam umumnya sangat rendah). Unsur hara yang diberikan dalam bentuk kation mudah sekali tercuci.

Supaya tujuan yang ingin dicapai melalui pemupukan dapat berhasil dengan baik, maka harus diperhatikan hal-hal berikut:

- a) Waktu pemberian pupuk
Waktu pemberian pupuk harus diperhitungkan supaya pada saat pupuk diberikan bertepatan dengan saat tanaman membutuhkannya, yang dikenal dengan istilah sinkronisasi (Gambar 4.1). Hal ini dimaksudkan agar tidak banyak unsur hara yang hilang tercuci oleh aliran air, mengingat intensitas dan curah hujan di kawasan ini sangat tinggi. Waktu pemberian pupuk yang tepat bervariasi untuk berbagai jenis pupuk dan jenis tanamannya. Pemupukan N untuk tanaman semusim sebaiknya diberikan paling tidak dua kali, yaitu pada saat tanam dan pada saat pertumbuhan maksimum (sekitar 1-2 bulan setelah tanam). Sementara pupuk P dan K bisa diberikan sekali saja yaitu pada saat tanam.
- b) Penempatan Pupuk
Penempatan pupuk harus diusahakan berada dalam daerah aktivitas akar, agar pupuk dapat diserap oleh akar tanaman secara efektif. Kesesuaian letak pupuk dengan posisi akar tanaman disebut dengan istilah sinlokalisasi.
- c) Dosis pupuk
Jumlah pupuk yang diberikan harus sesuai dengan kebutuhan tanaman, supaya pupuk yang diberikan tidak banyak yang hilang percuma sehingga dapat menekan biaya produksi serta menghindari terjadinya polusi dan keracunan bagi tanaman.



Gambar 4.1
Skematis sinkronisasi antara saat pemberian pupuk dengan saat tanaman membutuhkan.

Walaupun pemupukan merupakan cara yang mudah dan cepat untuk mengatasi permasalahan kahat hara, namun terdapat beberapa kelemahan dari cara ini yang harus dipertimbangkan dalam merencanakan program pemupukan. Beberapa kelemahan dari pengelolaan tanah secara kimia adalah:

- Pemupukan membutuhkan biaya tinggi karena harga pupuk mahal
- Penggunaan pupuk tidak dapat menyelesaikan masalah kerusakan fisik dan biologi tanah, bahkan cenderung mengasamkan tanah.
- Pemupukan yang tidak tepat dan berlebihan menyebabkan pencemaran lingkungan

C. Penyemprotan herbisida

Tumbuhan pengganggu atau gulma yang tumbuh dalam lahan yang ditanami menyebabkan kerugian karena mengambil unsur hara dan air yang seharusnya dapat digunakan oleh tanaman. Oleh karena itu keberadaan dan pertumbuhan gulma harus ditekan. Cara kimia juga dipergunakan untuk menekan pertumbuhan gulma yang banyak ditemukan pada tanah masam seperti alang-alang, yakni dengan memakai herbisida. Pemakaian herbisida harus dilakukan secara tepat baik dalam hal jumlah (dosis), waktu dan penempatannya, demikian pula harus disesuaikan antara macam herbisida dengan gulma yang akan diberantas. Penggunaan herbisida yang berlebihan dapat menyebabkan bahaya keracunan pada si pemakai dan pada produk pertanian yang dihasilkan serta pencemaran lingkungan.

4.2.2 Cara fisik – mekanik

Penanganan secara fisik dan mekanik terutama ditujukan untuk perbaikan media pertumbuhan perakaran, penanggulangan gulma dan usaha penekanan erosi. Hambatan kedalaman perakaran yang disebabkan oleh adanya lapisan keras dari kerikil (*krokos = laterit*) mungkin dapat diatasi dengan pembongkaran secara mekanik dengan mengolah tanah dalam (*deep plowing*) misalnya dengan menggunakan gancu untuk menghancurkan bongkahan laterit tersebut.

Perbaikan media tumbuh tanaman melalui pengolahan tanah dapat memperbaiki pertumbuhan akar tanaman sehingga dapat mengurangi jumlah unsur hara yang hilang karena pencucian. Perbaikan sebaran akar tanaman juga mengurangi kehilangan unsur hara akibat erosi dan aliran permukaan. Secara teoritis cara ini mungkin dapat dilakukan tetapi jarang dilaksanakan di lapangan karena membutuhkan tenaga kerja yang banyak.

Pengolahan tanah dan penyiangan gulma merupakan usaha yang sering dilakukan petani untuk memperoleh produksi tanaman yang optimal. Pengolahan tanah baik secara manual maupun mekanik dapat membantu menggemburkan tanah sehingga memperbaiki perkembangan akar tanaman. Pengolahan tanah dapat mempercepat proses dekomposisi bahan organik tanah dan mineralisasi hara sehingga memperbaiki pertumbuhan tanaman untuk beberapa tahun. Oleh karena proses dekomposisi bahan organik tanah berlangsung lebih cepat, maka penambahan bahan organik harus selalu dilakukan. Jika penambahan bahan organik dari luar tidak dilakukan, maka tanah akan mengalami pemadatan kembali lebih cepat.

Cara lain untuk meningkatkan efisiensi penggunaan hara (pupuk) adalah dengan menghindarkan penempatan pupuk pada jalur aliran air. Agar jumlah dan kecepatan aliran air ke lapisan bawah (infiltrasi dan perkolasi) tidak sama diseluruh luasan lahan, maka dapat dikembangkan adanya jalur cepat untuk aliran air atau yang dikenal sebagai *by-pass flow*. Aliran cepat ini dapat melalui lubang pori kasar, retakan tanah dan sebagainya. Jumlah dan kecepatan aliran yang melalui jalur cepat ini lebih tinggi dibandingkan yang melalui jalur biasa, sehingga akan mengangkut dan mencuci unsur hara yang berada dalam jangkauannya. Sementara unsur hara yang tidak berada pada jalur aliran cepat ini dapat tertahan lebih lama dalam lapisan tanah sehingga sempat diambil oleh akar tanaman,

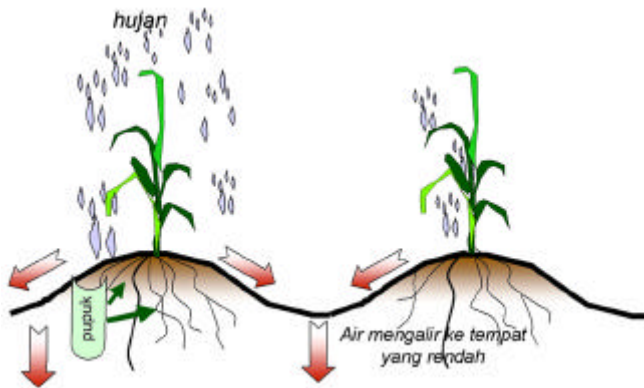
Cara paling sederhana dan efektif untuk memperoleh kondisi seperti itu adalah dengan membuat permukaan tanah tidak rata misalnya dengan guludan, sehingga di permukaan tanah terdapat bagian yang cembung (puncak) dan cekung (lembah). Bila terjadi hujan, maka kelebihan air di permukaan tanah yang cembung akan segera mengalir ke bagian yang cekung, sehingga infiltrasi dan aliran vertikal ke bawah yang melalui permukaan cembung lebih kecil jumlahnya dibandingkan pada permukaan yang cekung. Pada musim penghujan, tanaman ditanam di bagian puncak guludan, di mana pupuk atau bahan organik juga ditempatkan di dekatnya (*Gambar 4.2*), sehingga masih berada dalam daerah jelajah akar. Bila terjadi hujan lebat maka aliran air ke bawah (perkolasi) di bawah permukaan guludan lebih sedikit, karena sebagian air lebih cepat mengalir di permukaan menuju ke bagian yang lebih rendah, sehingga pupuk dapat terselamatkan dari bahaya pencucian.

Pengolahan tanah dengan membuat guludan di satu pihak dimasukkan untuk menekan pencucian unsur hara, tetapi di pihak lain memperbesar limpasan permukaan. Adanya limpasan permukaan menimbulkan persoalan yang lain, yaitu penggerusan dan pengangkutan material tanah di permukaan atau erosi. Oleh karena itu pembuatan guludan khususnya di daerah yang berlereng harus

memperhatikan kemungkinan adanya bahaya erosi. Disarankan agar guludan dibuat tegak lurus dengan arah lereng untuk mengurangi kemiringan dan memperpendek lereng, sehingga dapat mengurangi laju aliran permukaan air terkonsentrasi di bagian cekungan (selokan).

Pengelolaan dengan cara fisik-mekanik ini juga memiliki beberapa kelemahan dan kekurangan, di antaranya adalah:

- Pengelolaan secara fisik-mekanik biasanya memerlukan tenaga dalam jumlah banyak dan waktu yang lama
- Tidak dapat mengatasi masalah kekurangan bahan organik tanah karena jumlah biomas yang diangkut keluar petak lahan melalui panen sangat banyak sementara jumlah yang dikembalikan sangat sedikit. Di lain pihak kandungan bahan organik tanah terus menurun karena adanya peningkatan kecepatan mineralisasi.



Gambar 4.2
Skema heterogenitas infiltrasi air hujan dalam tanah akibat pembuatan guludan

4.2.3 Cara biologi

Prinsip-prinsip pengelolaan kesuburan tanah secara biologi dikembangkan dari hasil pengalaman yang diperoleh dari sistem hutan alami di mana vegetasi dapat tumbuh subur tanpa tambahan unsur hara dari luar. Hal ini membuktikan bahwa pepohonan berperan penting dalam pemeliharaan kesuburan tanah. Sistem hutan alam memiliki siklus hara yang tertutup, di mana hara yang dipergunakan untuk pertumbuhan pohon diambil dari tanah dan pohon juga akan mengembalikan sebagian hara tersebut ke dalam tanah melalui daun, ranting dan cabang yang gugur. Kenyataan yang terpenting pada kondisi hutan ini adalah bahwa jumlah kehilangan hara melalui pencucian, erosi atau aliran permukaan sangat kecil. Oleh karena itu konsep pengelolaan tanah secara biologi adalah meniru *sistem tertutup* yang dijumpai di hutan. Beberapa cara pengelolaan tanah secara biologi ini antara lain:

A. Mempertahankan kandungan Bahan Organik Tanah (BOT)

Seperti telah diuraikan dalam bagian depan bab ini, cara-cara kimia dan fisik-mekanik yang dianjurkan untuk memecahkan masalah kesuburan tanah ternyata dapat menimbulkan masalah tambahan. Kondisi ini memaksa kita untuk mencari cara alternatif dengan memanfaatkan bahan-bahan yang ramah lingkungan serta murah dan mudah didapat. Bahan organik memberikan pengaruh yang menguntungkan bukan hanya pada sifat kimia, tetapi juga sifat fisik dan biologi tanah.

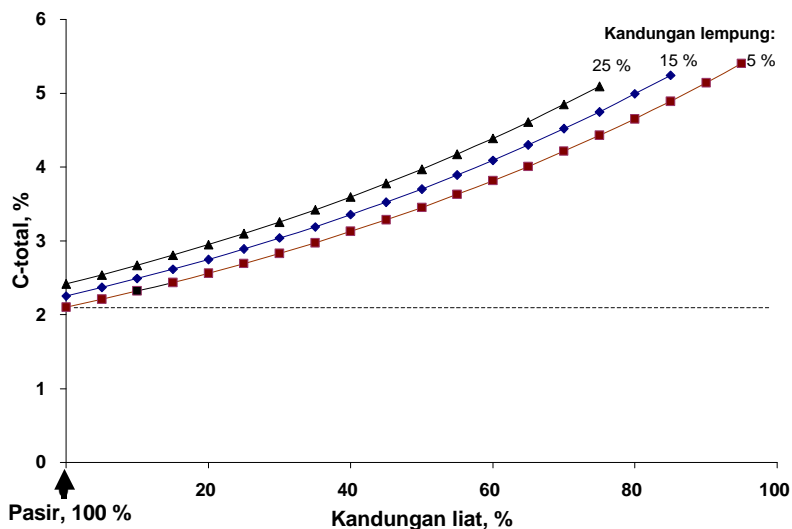
Untuk mendapatkan kondisi tanah yang optimal bagi pertumbuhan tanaman, diperlukan adanya bahan organik tanah (C_{total}) di lapisan atas paling sedikit 2% (Young, 1989). Jumlah ini didasarkan pada taksiran kasar saja, karena kandungan bahan organik tanah yang optimal berhubungan erat sekali dengan kandungan liat dan pH tanah. Untuk itu dalam menentukan kandungan bahan organik tanah yang optimal harus dikoreksi dengan kandungan liat dan pH tanahnya ($C_{referensi}$ atau C_{ref}). Perhitungan sederhana telah dikembangkan oleh Van Noordwijk *et al.* (1997) adalah sebagai berikut:

- **Tanah subur bila mengandung bahan organik tanah minimal 2.5 - 4%.**
- **Untuk mempertahankannya diperlukan masukan bahan organik minimal sebanyak 8 - 9 ton ha⁻¹ setiap tahunnya.**

$$C_{ref} = (Z_{contoh} / 7.5)^{0.42} \exp(1.333 + 0.00994 * \% \text{liat} + 0.00699 * \% \text{debu} - 0.156 * \text{pH}_{KCl} + 0.000427 * \text{ketinggian tempat})$$

di mana Z_{contoh} = kedalaman pengambilan contoh tanah, cm
ketinggian tempat = m di atas permukaan laut.

Persamaan ini berlaku untuk semua lahan kering dan tanah vulkanik muda. Dengan demikian dapat ditetapkan **kejenuhan bahan organik tanah** (C_{total}/C_{ref}) yaitu nisbah antara **kandungan total bahan organik tanah** (C_{total} atau C_{org}) pada kondisi sekarang dengan **kandungan bahan organik tanah yang dikoreksi** (C_{ref}). Gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara kondisi BOT (%) dengan kandungan liat pada tanah hutan (pH 4.0) di Sumatra (Van Noordwijk, personal com.). Dari gambar tersebut dapat dipelajari bahwa untuk tanah pasir BOT sejumlah 2% adalah merupakan jumlah maksimum yang dapat diperoleh. Sedangkan untuk tanah liat, jumlah kandungan BOT sekitar 2% berarti tanah tersebut telah kehilangan C-organik sekitar 50% dari jumlah maksimum. Oleh karena itu target jumlah BOT 2% yang dikemukakan oleh Young (1989) tersebut di atas menjadi terlalu tinggi untuk tanah pasir dan terlalu rendah untuk tanah liat. Oleh karena itu target rata-rata untuk berbagai jenis tanah sebaiknya sekitar 2.5- 4%.



Gambar 4.3 Referensi kandungan C tanah hutan pada berbagai jumlah kandungan liat (%) di Sumatra.

Sementara itu agar kondisi tanah seperti ini bisa dipertahankan, tanah pertanian harus selalu ditambah bahan organik minimal sebanyak 8 - 9 ton ha⁻¹ setiap tahunnya (Young, 1989). Lalu dari mana dan bagaimana mendapatkan bahan organik untuk memenuhi kebutuhan tersebut? Berikut ini beberapa cara yang dapat ditempuh untuk mendapatkan bahan organik:

- Pengembalian sisa panen

Jumlah sisa panen tanaman pangan yang dapat dikembalikan ke dalam tanah berkisar 2 - 5 ton ha⁻¹, sehingga tidak dapat memenuhi jumlah kebutuhan bahan organik minimum. Oleh karena itu masukan bahan organik dari sumber lain tetap diperlukan.

- Pemberian kotoran hewan

Kotoran hewan atau pupuk kandang bisa berasal dari hewan peliharaan seperti sapi, kerbau, kambing dan ayam, atau juga bisa berasal dari hewan liar seperti kelelawar dan burung. Pengadaan atau penyediaan kotoran hewan seringkali sulit dilakukan karena memerlukan tenaga dan biaya transportasi yang banyak. Bahkan di beberapa daerah sulit didapatkan kotoran hewan karena jumlah hewan yang dipelihara oleh penduduk sangat sedikit.

- Pemberian pupuk hijau

Pupuk hijau bisa diperoleh dari serasah dan dari pangkasan tanaman penutup yang ditanam selama masa bera atau pepohonan dalam larikan sebagai tanaman pagar. Pangkasan tajuk tanaman penutup tanah dari

keluarga kacang-kacangan (LCC = *legume cover crops*) dapat memberikan masukan bahan organik sebanyak 1.8 – 2.9 ton ha⁻¹ (umur 3 bulan) dan 2.7 – 5.9 ton ha⁻¹ untuk yang berumur 6 bulan (Tabel 4.2).

Tabel 4.2 Total masukan berat kering tajuk (ton ha⁻¹) tanaman penutup tanah kacang-kacangan, kandungan N dalam tanaman (%), nisbah tajuk/akar dan taksiran masukan N-total ke dalam tanah (kg ha⁻¹), pada saat tanaman berumur 3 dan 6 bulan.

Species	Berat kering ton ha ⁻¹		N (%)		Nisbah tajuk/ akar	N-total kg ha ⁻¹	
	3 bln	6 bln	3 bln	6 bln		3 bln	6 bln
<i>Mucuna</i> (koro benguk)	2.1	2.7	3.2	2.7	14	70	76
<i>C. caeruleum</i> (kacang asu)	1.8	5.8	2.9	2.9	4	66	205
<i>C. mucunoides</i> (kacang asu)	2.4	4.5	2.8	2.4	4	83	136
<i>Centrosema</i> (ki besin)	2.3	5.3	3.0	3.4	4	86	226
<i>Crotalaria</i> (orok-orok)	2.9	5.9	2.7	1.2	4	100	81
Rumput	1.9	4.0	1.4	1.5	5	31	35

Pada umur 3 bulan, *Crotalaria* (orok-orok) memberikan masukan bahan kering tertinggi, sekitar 3 ton ha⁻¹ dan diikuti oleh *Calopogonium mucunoides* (kacang asu), *Centrosema* (ki besin), *Mucuna* (koro benguk) dengan berat tajuk sekitar 2.0 - 2.5 ton ha⁻¹. Sementara *Calopogonium caeruleum* dan rumput-rumputan menghasilkan bahan kering kurang dari 2 ton ha⁻¹. Pada umur 6 bulan *C. caeruleum* menunjukkan peningkatan produksi tajuk yang sangat besar. *Crotalaria*, *Centrosema* dan *C. caeruleum* menghasilkan berat kering tajuk berkisar antara 5 - 6 ton ha⁻¹. *Mucuna* memiliki masa pertumbuhan yang lebih pendek dari pada jenis yang lain, sehingga pada umur 6 bulan tidak menunjukkan peningkatan produksi tajuk.

Data dalam Tabel 4.2 menunjukkan bahwa usaha penanaman tanaman penutup tanah saja tidak dapat mencukupi kebutuhan minimum untuk masukan bahan organik sebesar 8 - 9 ton ha⁻¹ th⁻¹. Usaha lain untuk memperoleh tambahan bahan organik adalah dengan menanam pepohonan berbaris sebagai pagar di antara tanaman semusim. Tajuk tanaman pagar dipangkas secara rutin bila telah mulai menaungi tanaman semusim. Semua hasil pangkasan dikembalikan ke dalam petak lahan sebagai mulsa, kecuali cabang yang garis-tengahnya lebih dari 5 cm diangkut keluar lahan. Usaha pengembalian pangkasan ke dalam petak lahan ini sebenarnya mendekati pola “siklus hara tertutup” di hutan. Sistem bercocok tanam yang telah lama dikenal di Nusa Tenggara ini dikenal dengan sebutan “budidaya lorong = alley cropping” atau “budidaya pagar = hedgerow intercropping”.

Hasil percobaan di Pakuan Ratu selama 5 tahun dengan menanam beberapa jenis tanaman pagar dari keluarga leguminosa membuktikan bahwa *Calliandra* dapat memberikan hasil biomas tertinggi dibanding jenis pohon lainnya yang diuji (Tabel 4.3), sedang dadap minyak (*Erythrina*) memberikan hasil terendah. Gamal (*Gliricidia*) dan petaian (*Peltophorum*) atau kombinasi keduanya dapat

memenuhi target masukan bahan organik ke dalam tanah dengan jumlah produksi rata-rata 8 ton ha⁻¹ setiap tahunnya. Masukan N yang berasal dari bahan organik ini ke dalam tanah berkisar antara 100 - 270 kg N 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. Pada Bab 5 buku ini, sistem budidaya lorong akan dibahas secara lebih rinci.

Tabel 4.3 Total masukan biomas tajuk rata-rata per tahun yang merupakan hasil pangkasan rata-rata tiga kali setahun, kandungan N daun dan total masukan N ke dalam tanah.

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

Fungsi Bahan Organik Tanah (BOT)

Peranan bahan organik yang sangat dibutuhkan adalah untuk 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, sehingga dapat meningkatkan efisiensi pemupukan. Penambahan bahan organik pada tanah-tanah *Ultisols* berpasir di Pakuan Ratu ternyata dapat meningkatkan daya menahan air tanah. Bahan organik mampu mengikat air dalam jumlah yang besar, sehingga dapat mengurangi jumlah air yang hilang

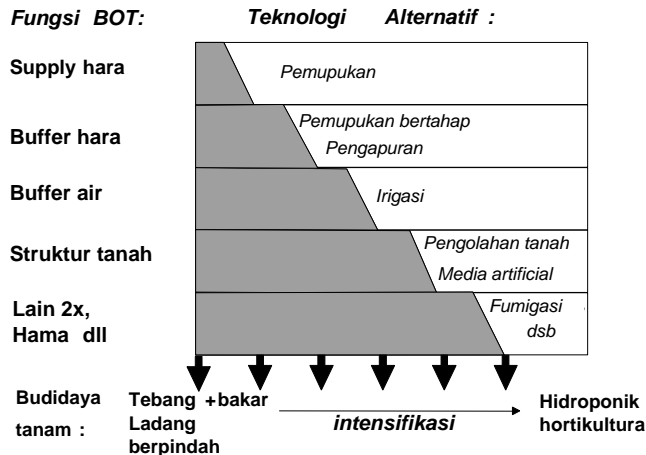
Tingginya kandungan bahan organik tanah dapat mempertahankan kualitas sifat fisik tanah sehingga membantu perkembangan akar tanaman dan kelancaran siklus air tanah antara lain melalui pembentukan pori tanah dan kemantapan agregat tanah. Dengan demikian jumlah air hujan yang dapat masuk ke dalam tanah (infiltrasi) semakin meningkat sehingga mengurangi aliran permukaan dan erosi.

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

Teknik penggantian fungsi BOT

Untuk tujuan pengembalian kesuburan tanah terutama yang berhubungan dengan penyediaan unsur hara, fungsi bahan organik dapat digantikan dengan

penambahan pupuk anorganik (Gambar 4.4). Pada sistem pertanian dengan masukan rendah, bahan organik mutlak diperlukan dan pengadaannya tergantung pada masukan dari luar tanah seperti dari sisa-sisa hewan, tanaman dan manusia. Semakin canggih suatu sistem pertanian semakin berkurang ketergantungannya terhadap BOT.



Gambar 4.4. Hubungan skematis antara fungsi bahan organik tanah dengan berbagai sistem pertanian dan teknologi alternatif.

Pada sistem pertanian yang canggih (masukan tinggi), beberapa fungsi bahan organik seperti penyangga hara, penahan air, perbaikan struktur tanah dan pengendali hama dan penyakit, dapat dimanipulasi dengan teknologi pemupukan, irigasi, pemanfaatan *soil conditioner* dan penyemprotan insektisida.

Pengukuran kandungan BOT

Indikasi penurunan BOT biasanya diukur dari kadar C-total dan N-total sehingga diperoleh nilai nisbah C/N, yang selanjutnya dapat dipakai untuk menaksir ketersediaan hara dari mineralisasi bahan organik. Namun penelitian terakhir membuktikan bahwa kadar C-total bukan merupakan tolok ukur yang akurat, karena hasil dari pengukuran tersebut termasuk BOT stabil. Menurut Woome *et al.* (1994) BOT dibagi dalam beberapa kelompok menurut umur paruh dan komposisinya (Tabel 4.4). Umur paruh BOT tersebut ditaksir melalui simulasi model CENTURY (Parton *et al.*, 1987). Dari Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa BOT lambat lapuk dan pasif (stabil) berada dalam tanah sejak puluhan bahkan mungkin ratusan tahun yang lalu. Kelompok ini meliputi asam-asam organik dan bahan organik yang terjerap kuat oleh liat yang tidak tersedia bagi tanaman dan biota. Penetapan kandungan C-total dengan metoda Walkey & Black adalah mengukur semua kelompok BOT baik yang masih baru maupun yang sudah lama. Hasil penetapan itu tidak dapat dipergunakan untuk studi dinamika BOT pada berbagai sistem pengelolaan lahan karena hasilnya tidak akan menunjukkan perbedaan yang

kelas. Untuk itu diperlukan sebagai tolok ukur adalah kandungan fraksi-fraksi BOT tersebut.

Tabel 4.4 Pengelompokan BOT berdasarkan umur paruh yang ditaksir melalui simulasi model *CENTURY* (Parton *et al.*, 1987) dan komposisi kimianya (Woomer *et al.*, 1994)

Kelompok Bahan Organik Tanah	Umur paruh (tahun)	Komposisi	Nama lain
Bahan organik metabolis (<i>Metabolic litter</i>)	0.1 - 0.5	Isi sel, selulosa	Sisa hewan, tanaman & manusia
Bahan organik struktural (<i>Structural litter</i>)	0.3 - 2.1	Lignin, polyfenol	Sisa tanaman
Bahan organik aktif (<i>Active pool</i>)	0.2 - 1.4	Biomasa mikrobia, Karbohidrat mudah larut, enzim exocellular	Fraksi labil
Bahan organik lambat lapuk (<i>Slow pool</i>)	8 - 50	Bahan organik ukuran partikel (50 μm - 2.0 mm)	Fraksi labil
Bahan organik pasif (<i>Passive pool</i>)	400 - 2200	Asam-asam humik dan fulvik, kompleks organo-mineral (bahan organik yang terjerap kuat oleh mineral liat)	Substansi humus atau Fraksi stabil

Pada prinsipnya (berdasarkan fungsinya) bahan organik tersusun dari komponen *labil* dan *stabil*, komponen labil terdiri dari bahan yang sangat cepat didekomposisi pada awal proses mineralisasi dan akumulasi dari *recalcitrant residue* (residu yang tahan terhadap pelapukan) yang merupakan sisa dari proses mineralisasi yang terdahulu. Umur paruh (*turnover* = waktu yang dibutuhkan untuk mendekomposisi bahan organik sampai habis) dari fraksi labil dan stabil ini bervariasi bisa beberapa bulan saja tetapi juga bisa ribuan tahun. Hasil percobaan menggunakan isotop menunjukkan bahwa fraksi BOT dapat sangat stabil dalam tanah sampai lebih dari 9.000 tahun. Sekitar 60-80% BOT dalam tanah-tanah pada umumnya terdiri dari substansi humus.

Fraksi labil

Fraksi labil terdiri dari bahan yang mudah didekomposisi berkisar dari beberapa hari sampai beberapa tahun. Komponen BOT labil terdiri dari 3 kelompok:

- Bahan yang paling labil adalah bagian seluler tanaman seperti karbohidrat, asam amino, peptida, gula-amino, dan lipida.
- Bahan yang agak lambat didekomposisi seperti malam (waxes), lemak, resin, lignin dan hemiselulosa.
- Biomass dan bahan metabolis dari mikrobia (microbial biomass) dan bahan residu *recalcitrant* lainnya.

Fraksi labil berperan sangat penting dalam mempertahankan kesuburan tanah yaitu sebagai sumber hara tanaman karena komposisi kimia bahan asalnya dan tingkat dekomposisinya yang cepat. Biomas mikrobia sangat penting dalam mempertahankan status BOT yang berperan sebagai “source” (sumber) dan “sink” (penyerap) bagi ketersediaan hara karena daur hidupnya relatif singkat.

Faktor iklim makro yang menentukan kecepatan dekomposisi fraksi adalah temperatur dan kelembaban tanah serta keseimbangan biomas mikrobia. Di daerah tropika basah yang memiliki resim temperatur isothermik atau isohiperthermik dan ketersediaan air tanah yang beragam sangat menentukan perkembangan populasi mikrobia tanah sehingga berpengaruh besar terhadap kecepatan dekomposisi komponen labil BO.

Substansi humik: fraksi stabil

Komponen BOT yang paling sulit dilapuk adalah asam-asam humik, merupakan hasil pelapukan seresah (substansi organik menyerupai lignin) atau kondensasi substansi organik terlarut yang dibebaskan melalui dekomposisi gula, asam amino, polifenol dan lignin. Jadi bisa dikatakan bahwa substansi humik adalah produk akhir dekomposisi BOT oleh mikrobia.

Ketahanan substansi humik terhadap proses dekomposisi disebabkan konfigurasi fisik maupun struktur kimia yang sulit dipecahkan oleh mikrobia. Substansi ini secara fisik terikat kuat dengan liat dan koloidal tanah lainnya, atau dapat juga karena letaknya di dalam agregat-mikro (Hassink, 1995; Matus, 1994) dan ditambah lagi dengan adanya hyphae ataupun akar-akar halus.

Kontribusi substansi humik terhadap ketersediaan hara masih belum banyak diketahui, karena waktu turnover-nya yang terlalu panjang. Namun demikian pool stabil dari bahan organik ini tetap memegang peranan penting sebagai biological ameliorant terhadap unsur-beracun bagi tanaman, juga sangat berperan dalam pembentukan agregat tanah dan pengikatan kation dalam tanah. Peranan sebagai pengikat kation lebih diutamakan karena pada tanah-tanah masam BOT merupakan satu-satunya fraksi tanah bermuatan positif.

Keragaman hayati komponen organik tanah

Seperti diketahui bahan organik tanah tersusun dari berbagai komponen baik yang masih hidup maupun yang sudah mati. Hasil penelitian menunjukkan bahwa C-organik hidup sekitar 4% dari total C-tanah yang terdiri dari akar-akar halus, mikrobia dan fauna tanah. C-organik mati terutama terdiri dari seresah pada permukaan tanah (surface litter), seresah akar, sisa-sisa metabolik mikroorganisma dan substansi humik. C-organik hidup dan C-organik mati saling berinteraksi, termasuk organisma saprofitik yang membutuhkan C-organik mati untuk kebutuhan metabolismenya.

Fraksionasi BOT sebagai tolok ukur perubahan kandungan BOT

Banyak penelitian yang mengevaluasi teknik fraksionasi BOT baik berdasarkan berat jenis (BJ) maupun ukuran partikel yang dilakukan pada daerah-daerah beriklim dingin (temperate), namun masih baru untuk daerah tropis. Penetapan fraksi BOT secara fisik yaitu berdasarkan berat jenis (BJ) dan ukuran partikel terbukti dapat memberikan hasil yang lebih baik karena teknik ini mampu mengelompokkan BOT berdasarkan struktur dan fungsinya secara biologis. Pada prinsipnya fraksionasi BOT secara fisik ini memisahkan bahan organik dengan partikel tanah. Hasil penetapan fraksi BOT di daerah Pakuan Ratu dapat dilihat pada Contoh Kasus 4.1.

Bagaimana memilih bahan organik yang tepat?

Pemberian bahan organik ke dalam tanah seringkali memberikan hasil yang kurang memuaskan, sehingga banyak petani tidak tertarik untuk melakukannya. Hal ini disebabkan kurangnya dasar pengetahuan dalam memilih jenis bahan organik yang tepat. Pemilihan jenis bahan organik sangat ditentukan oleh tujuan pemberian bahan organik tersebut. Tujuan pemberian bahan organik bisa untuk penambahan hara atau perbaikan sifat fisik seperti mempertahankan kelembaban tanah yaitu sebagai mulsa. Pertimbangan pemilihan jenis bahan organik didasarkan pada kecepatan dekomposisi atau melapuknya. Bila bahan organik akan dipergunakan sebagai mulsa, maka jenis bahan organik yang dipilih adalah dari jenis yang lambat lapuk. Apabila digunakan untuk tujuan pemupukan bisa dari jenis yang lambat maupun yang cepat lapuk.

Kecepatan pelapukan suatu jenis bahan organik ditentukan oleh kualitas bahan organik tersebut. Sedangkan kualitasnya ditetapkan dengan menggunakan seperangkat tolok ukur, di mana untuk setiap jenis unsur hara tolok ukur tersebut bisa berbeda-beda.

- Kualitas bahan organik berkaitan dengan penyediaan unsur N, ditentukan oleh besarnya kandungan N, lignin dan polifenol. Bahan organik dikatakan berkualitas tinggi bila kandungan N tinggi, konsentrasi lignin dan polifenol rendah. Yang juga penting adalah memiliki *sinkronisasi* pelepasan hara dengan saat tanaman membutuhkannya. Nilai kritis konsentrasi N adalah 1.9%; lignin > 15% dan polifenol > 2%.

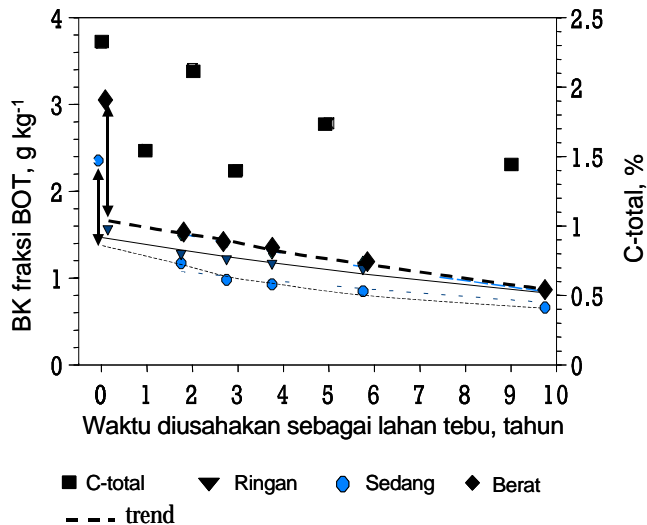
Kualitas bahan organik

- **Penyediaan N:** Nilai kritis konsentrasi N adalah 1.9%; lignin > 15% dan polifenol > 2%.
- **Penyediaan P:** Konsentrasi P dalam bahan organik. Nilai kritis adalah 0.25%.
- **Detoksifikasi Al:** Total konsentrasi kation yaitu K, Ca, Mg dan Na. Nilai kritis total konsentrasi kation > 50 cmol kg⁻¹.

Contoh Kasus 4.1

Dinamika bahan organik tanah setelah konversi hutan menjadi lahan tebu

Konversi hutan menjadi perkebunan tebu di kawasan Pakuan Ratu sangat mempengaruhi kandungan BOT, karena jumlah dan kualitas masukan yang sangat berbeda. Studi dinamika C dilakukan pada hutan sekunder dibandingkan dengan lahan tebu pada berbagai umur lahan setelah pembakaran hutan (Hairiah *et al.*, 1995). Untuk ini dilakukan pengukuran C-total dan berat kering fraksi BOT dalam suspensi silikat (*LUDOX*). Hasilnya disajikan pada Gambar 4.5. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa konversi hutan menjadi lahan tebu menurunkan kandungan BOT baik ditinjau dari segi C-total maupun berat kering fraksi BOT (sumbu Y_1) dalam suspensi *LUDOX*. Namun pada hasil penetapan C-total (sumbu Y_2) masih terlihat variasi yang cukup besar, sedangkan dengan penetapan fraksi BOT terjadi penurunan BOT yang jelas pada waktu satu tahun setelah pembukaan hutan. Hal ini menunjukkan bahwa untuk tujuan penetapan cadangan BOT, pengukuran C-total tanah sudah cukup. Namun untuk tujuan mempelajari proses dinamika C dalam tanah penetapan C-total saja masih perlu ditambah dengan penetapan fraksi BOT.



Gambar 4.5 Kandungan bahan organik tanah (BOT) pada hutan (0 tahun) dan lahan tebu pada berbagai umur (2-10 tahun) setelah pembakaran hutan.

- Kualitas bahan organik berkaitan dengan penyediaan unsur P ditentukan oleh konsentrasi P dalam bahan organik. Nilai kritis kadar P dalam bahan organik adalah 0.25%.
- Kualitas bahan organik berkaitan dengan detoksifikasi Al. Bahan organik mampu menetralkan pengaruh racun dari aluminium sehingga menjadi tidak beracun lagi bagi akar tanaman. Kemampuan merubah pengaruh suatu zat beracun menjadi tidak beracun ini disebut dengan *detoksifikasi*. Kualitas bahan organik berkaitan dengan

kemampuan dalam mendetoksifikasi ditentukan dengan tolok ukur total konsentrasi kation K, Ca, Mg dan Na. Pelepasan kation-kation tersebut dari hasil dekomposisi bahan organik dapat menekan kelarutan Al melalui peningkatan pH tanah.

Bahan organik yang mempunyai total konsentrasi kation $> 60 \text{ cmol kg}^{-1}$ merupakan bahan organik yang berpotensi untuk tujuan pengurangan efek beracun Al. Semakin tinggi nilai total konsentrasi kation suatu bahan organik semakin kuat kemampuannya dalam mengurangi efek beracun Al. Namun ada beberapa jenis tanaman yang mampu mengurangi efek beracun Al walaupun nilai total konsentrasi kationnya tidak terlalu tinggi. Misalnya gamal (*Gliricidia*) memiliki total konsentrasi kation sekitar 52 cmol kg^{-1} . Penambahan bahan organik berasal dari gamal sebanyak 10 ton ha^{-1} pada tanah di Lampung Utara dapat menekan Al yang meracun bagi tanaman (Al-monomerik) sampai serendah $2.87 \mu\text{mol}$, di mana nilai ini telah berada di bawah batas ambang toleransi akar tanaman jagung. Nampaknya peningkatan konsentrasi asam-asam organik terlarut selama proses mineralisasi juga harus dipertimbangkan, terutama asam fulvat yang dapat menekan kelarutan Al-anorganik monomerik.

Hasil analisis beberapa variabel yang dipakai sebagai tolok ukur kualitas bahan organik akan sangat membantu petani dalam memilih jenis bahan organik yang sesuai dengan kebutuhannya. Informasi tentang hal ini disajikan dalam Bab 5 Tabel 5.4.

Pemberian bahan organik untuk menambah N dan unsur hara lain

Penambahan bahan organik ke dalam tanah baik melalui pengembalian sisa panen, kompos, pangkasan tanaman penutup tanah dan sebagainya dapat memperbaiki cadangan total bahan organik tanah (*capital store C*). Praktek pertanian secara terus-menerus akan mengurangi cadangan total C dan N dalam tanah. Namun apabila ada pembeeraan maka secara bertahap kondisi tersebut akan pulih kembali. Dari semua unsur hara, unsur N dibutuhkan dalam jumlah paling banyak tetapi ketersediannya selalu rendah, karena mobilitasnya dalam tanah sangat tinggi. Kemampuan tanah dalam menyediakan hara N sangat ditentukan oleh kondisi dan jumlah bahan organik tanah. Ada tiga bentuk cadangan N (*N-capital*), yaitu:

- **Cadangan N yang selalu berubah**, yaitu mineral-N (NH_4^+ dan NO_3). Bentuk ini dapat diibaratkan seperti uang tunai dalam saku, yang tersedia sehingga mudah dipergunakan sewaktu-waktu. Jadi bentuk N ini mudah hilang dari dalam tanah.
- **Cadangan N jangka pendek hingga sedang**, yaitu N yang terkandung di dalam bahan organik tanah. Bentuk N ini dapat diibaratkan sebagai gaji bulanan atau tahunan, yang tersedia setelah

jangka waktu tertentu. Unsur hara N berasal dari bahan organik tanah yang dapat termineralisasi dalam jangka pendek (beberapa bulan) sampai sedang (antara 1-5 tahun).

- **Cadangan N jangka panjang** (10 tahun), dapat diibaratkan simpanan batangan emas di Bank, adalah bentuk N dalam bahan organik yang sangat sulit lapuk (*recalcitrant*).

Tiga sumber utama N tanah berasal dari bahan organik tanah, N tertambat dari udara bebas oleh tanaman kacang-kacangan (legume) yang bersimbiosis dengan bakteri rhizobium dan dari pupuk anorganik. Pelapukan bahan organik di daerah tropika sangat cepat mengakibatkan N juga cepat dilepas dalam bentuk N-anorganik yang mudah tersedia bagi tanaman. Unsur N yang tersedia dalam jumlah besar ini tidak menjamin tercapainya produksi tanaman yang optimum! Hasil-hasil penelitian di Pakuan Ratu menunjukkan bahwa

penambahan bahan organik asal famili kacang-kacangan (legume) dapat melepaskan hara N sekitar 20 - 45% dari jumlah total N yang terkandung di dalamnya (Handayanto *et al.*, 1994) selama satu siklus tanaman semusim.

Dari jumlah yang dilepaskan ternyata hanya sekitar 30% nya yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman semusim.

Timbul pertanyaan: mengapa hanya sedikit hara yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman semusim? Sebab saat tersedianya N dalam tanah tidak bertepatan dengan saat tanaman membutuhkannya, yang selanjutnya disebut rendahnya sinkronisasi antara ketersediaan hara dan kebutuhan tanaman. Tingkat sinkronisasi ini ditentukan oleh kecepatan dekomposisi (melapuk) dan mineralisasi (pelepasan unsur hara) bahan organik. Sementara itu kecepatan melapuk bahan organik ditentukan oleh berbagai faktor antara lain kelembaban, suhu tanah dan kualitas bahan organik. Gambar 4.6 memberikan ilustrasi secara skematis tentang sinkronisasi dari berbagai kualitas masukan bahan organik.

Bahan organik berkualitas tinggi akan cepat dilapuk dan akibatnya unsur hara (misalnya N) dilepaskan dengan cepat menjadi bentuk tersedia. Jika yang ditanam adalah tanaman yang lambat pertumbuhannya, maka pada saat bahan organik dilapuk dan unsur hara N dilepaskan dalam jumlah maksimal, ternyata tanaman belum membutuhkan N dalam jumlah banyak. Dengan kata lain terjadi kelebihan N tersedia tetapi tidak bisa dimanfaatkan oleh tanaman, sehingga N yang berlebih ini dapat hilang melalui pencucian dan penguapan (*Gambar 4.6.a*). Selanjutnya pada saat tanaman tersebut membutuhkan N dalam jumlah banyak (ketika mencapai fase pertumbuhan cepat), ternyata N tersedia dalam tanah sudah tidak mencukupi lagi. Pengaruh yang berbeda akan dijumpai apabila bahan

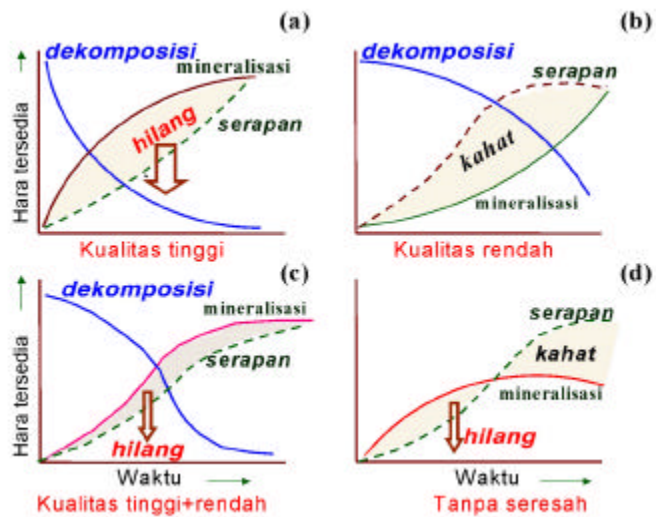
Contoh

Tanaman pagar gamal (*Tabel 2.3.*) mengandung N sekitar 180 kg ha⁻¹.

Jumlah N yang dapat dilepaskan ke dalam tanah berkisar antara 36 - 81 kg ha⁻¹ (20 - 45%)

Jumlah N yang diserap oleh tanaman semusim yang ditanam di antara baris tanaman pagar diperkirakan hanya 10 - 24 kg ha⁻¹ (5 - 13%)

organik yang berkualitas rendah diberikan pada tanaman yang pertumbuhannya cepat. Pada saat tanaman membutuhkan unsur N dalam jumlah banyak, bahan organik belum termineralisasi, sehingga N tersedia dalam tanah tidak cukup. Dalam hal ini terjadi tingkat sinkronisasi rendah, di mana penyediaan hara lambat sementara tanaman telah membutuhkannya, sehingga terjadi kekahatan hara (*Gambar 4.6.b*).



Gambar 4.6 Skematis sinkronisasi saat ketersediaan hara dari hasil mineralisasi dengan saat tanaman membutuhkannya pada berbagai macam masukan bahan organik (a) kualitas tinggi, (b) kualitas rendah, (c) campuran kualitas tinggi dan rendah dan (d) tanpa masukan bahan seresah (Myers *et al.*, 1995).

Idealnya, tanaman pagar harus mampu menghasilkan seresah dengan kemampuan melapuk cukup lambat untuk menekan kehilangan N yang dilepaskan, tetapi cukup cepat untuk menjamin ketersediaan N pada saat dibutuhkan tanaman. Kenyataannya, sangat sulit menemukan pohon yang memiliki sifat ideal seperti ini. Untuk mengatasi masalah ini, biasanya pohon dengan seresah yang cepat melapuk ditanam bersama-sama dengan pohon yang memiliki seresah lambat lapuk (*Gambar 4.6.c*).

Bila tidak ada masukan bahan organik ke dalam tanah (*Gambar 4.6.d*), akan terjadi masalah pencucian dan sekaligus kelambatan penyediaan hara. Pada kondisi seperti ini penyediaan hara hanya terjadi dari mineralisasi bahan organik yang masih terdapat dalam tanah, sehingga mengakibatkan cadangan total C tanah semakin berkurang.

Bagaimana menerapkan hasil penelitian ke lapangan?

Penelitian tentang dasar-dasar pengelolaan bahan organik sudah banyak dilakukan dan hasilnya telah dipublikasikan secara luas. Hasil penelitian tersebut

seharusnya dapat dimanfaatkan oleh para praktisi untuk bahan pertimbangan dalam mengambil keputusan pengelolaan bahan organik. Hal ini dapat dilakukan apabila para praktisi mampu menterjemahkan data hasil penelitian tersebut menjadi tindakan praktis. Oleh sebab itu berikut ini dikutip salah satu prosedur sederhana dan ringkas yang bisa menuntun kita dalam mengambil keputusan pengelolaan bahan organik bila tersedia data karakteristik kimia bahan bersangkutan, yaitu kandungan N, lignin dan polyphenol (*Gambar 4.6.a*).

Jika kita berhadapan dengan suatu bahan organik disertai informasi karakteristik kimianya (data analisis kimia), maka kita bisa mengikuti langkah-langkah berikut ini:

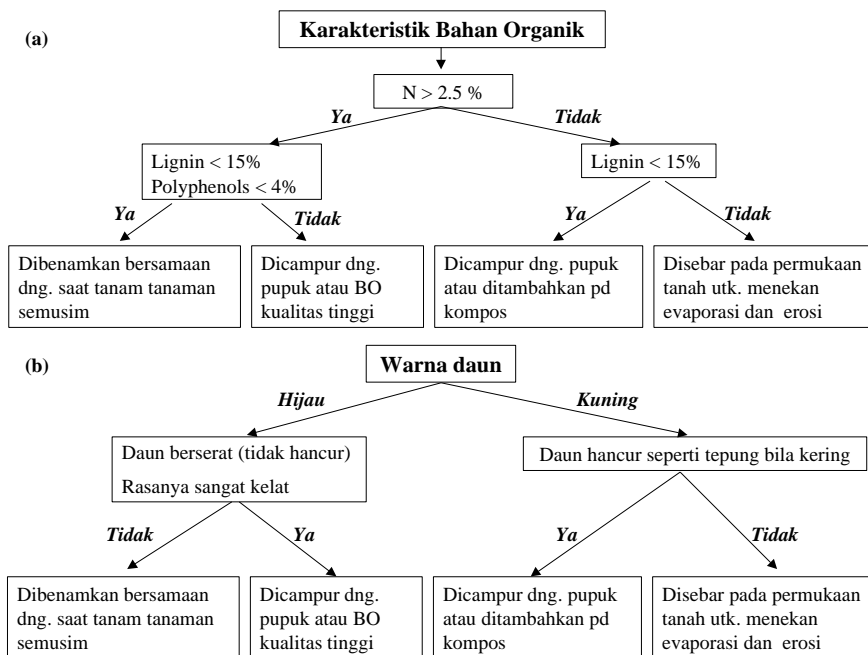
1. Bila kandungan N > 2,5%, bahan organik ini dikatakan berkualitas tinggi, maka ada dua kemungkinan:
 - a) Bila kandungan lignin < 15% dan polyphenol < 4%, maka:
 - Bahan organik tersebut dibenamkan bersamaan dengan saat tanam tanaman semusim, sebagai pupuk *in-situ*.
 - Bahan organik tersebut jangan dicampur dengan pupuk atau bahan organik berkualitas tinggi, karena akan hilang percuma.
 - b) Bila kandungan lignin > 15%:
 - Bahan organik tersebut dicampur dengan pupuk atau bahan organik lain yang berkualitas tinggi (kandungan N > 2,5%)
2. Bila kandungan N < 2,5%, dibagi dua kelompok berdasarkan kandungan ligninnya:
 - a) Bila kandungan lignin < 15%, maka direkomendasikan:
 - Bahan organik tersebut dicampur dengan pupuk atau ditambahkan pada kompos.
 - Bahan tersebut jangan disebar pada permukaan tanah untuk menekan evaporasi dan erosi, karena cepat melapuk sehingga cepat hilang dan tidak dapat menjaga kondisi air tanah.
 - b) Bila kandungan lignin > 15%, maka:
 - Bahan organik ini dapat disebar pada permukaan tanah sebagai mulsa untuk menekan evaporasi dan erosi

Prosedur sederhana untuk menentukan cara pengelolaan bahan organik yang tepat seperti contoh di atas (*Gambar 4.7.a*) sebenarnya dapat dikembangkan sendiri oleh para praktisi dan petani berdasarkan pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki, karena tidak semua kasus bisa mengikuti pola aturan ilmiah di atas. Sebagai contoh, sebuah pedoman serupa dikembangkan oleh petani di Zimbabwe berdasarkan pengalaman dan kebutuhan mereka (Giller, 1999). Pedoman ini didasarkan pada karakteristik bahan secara sederhana yaitu warna daun (*Gambar 4.7.b*). Penggunaan pedoman ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

Bahan organik seresah dipisahkan dalam dua kelompok besar berdasarkan warna daun yang dominan:

1. Bila daun berwarna hijau, ada dua kelompok:

- a) Apabila daun tidak berserat dan mudah hancur, terasa sangat kelat (Bah. Jawa: *sepet*), maka direkomendasikan:
 - Bahan organik tersebut dapat ditanamkan *in-situ* bersamaan dengan waktu tanam tanaman semusim.
 - b) Apabila daun berserat dan tidak mudah hancur, tidak terasa kelat, maka direkomendasikan:
 - Bahan organik tersebut jangan ditanamkan *in-situ* bersamaan dengan waktu tanam tanaman semusim.
 - Bahan tersebut sebaiknya dicampur dengan pupuk atau bahan organik lain yang berkualitas tinggi
2. Bila daun berwarna kuning dipisahkan menjadi dua kelompok:
- a) Apabila mudah hancur seperti tepung, maka direkomendasikan:
 - Bahan organik tersebut dicampur dengan pupuk atau ditambahkan pada kompos.
 - Bahan organik tersebut jangan disebar pada permukaan tanah sebagai mulsa karena bahan organik cepat melapuk sehingga tidak dapat untuk menekan evaporasi dan erosi.
 - b) Apabila tidak mudah hancur bila kering, maka direkomendasikan:
 - Bahan organik tersebut dapat disebar pada permukaan tanah sebagai mulsa untuk menekan evaporasi dan erosi.



Gambar 4.7 Alur pengambilan keputusan pengelolaan bahan organik pada sistem pertanian. (a) Kualitas bahan organik berdasarkan data analisis komposisi kimia (b) berdasarkan pengalaman praktis pada tingkat petani (Giller, 1999).

Setelah mengenal prinsip-prinsip dasar kualitas bahan organik maka faktor lain yang harus dipertimbangkan adalah curah hujan. Risiko kehilangan hara tertinggi terjadi pada musim penghujan karena hara tersebut tercuci bersama dengan aliran air ke bawah (perkolasi), akibat curah hujan yang tinggi. Untuk menekan kehilangan hara akibat pencucian ini, perlu diatur strategi pemberian yang didasarkan pada pertimbangan jenis bahan organik atau kecepatan melapuknya, jenis tanaman yang ditanam dan kalender musim. Pengalaman penelitian di Lampung Utara yang dituangkan dalam *Gambar 4.8*. dapat dipergunakan sebagai contoh untuk mempertimbangkan pemilihan cara-cara pengelolaan bahan organik.

Sisa-sisa panen yang cepat lapuk (misalnya tanaman penutup tanah dan kedelai) sebaiknya diberikan pada awal dan akhir musim penghujan. Pembenanaman sisa panen jagung dan kedelai dan tanaman penutup tanah pada akhir musim penghujan memberikan keuntungan pada tanaman jagung yang ditanam pada awal musim penghujan berikutnya. Jerami jagung lambat lapuk sedangkan jerami kedelai dan tanaman penutup tanah cepat lapuk, namun selama musim kemarau dekomposisi dan mineralisasi hara dari campuran bahan organik ini berjalan sangat lambat dan risiko pencucian kecil. Dengan demikian strategi ini cukup menguntungkan bagi petani.



Gambar 4.8 Waktu pemberian bahan organik dengan mempertimbangkan faktor kualitas bahan organik dan musim penghujan di Lampung Utara (modifikasi dari Handayanto dan Ismunandar, 1999).

Dalam kaitannya dengan pengelolaan bahan organik tanah, timbul pertanyaan berikut “Apakah pengelolaan N tanah harus dipusatkan pada usaha mempertahankan kandungan bahan organik tanah guna meningkatkan efisiensi serapan N oleh tanaman atau cukup dengan pengaturan saat ketersediaan N baik dari bahan organik

maupun pupuk buatan bertepatan dengan saat tanaman membutuhkannya?". Jawabannya adalah kedua-duanya diperlukan !! Adanya pengembalian bahan organik ke dalam tanah dan pengaturan saat pelepasan N berarti ada upaya restorasi kondisi tanah yang berkaitan dengan cadangan N.

B. Menjaring unsur hara

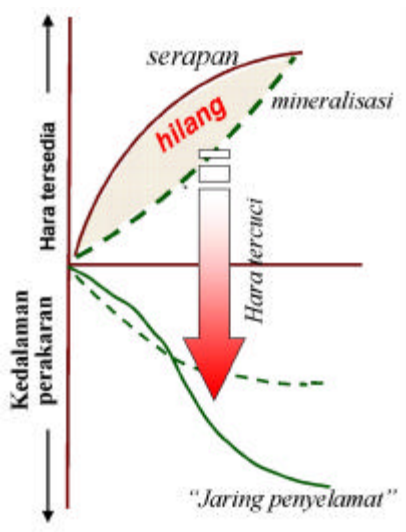
Salah satu permasalahan yang sangat merugikan usaha tani pada tanah masam adalah rendahnya efisiensi pemupukan akibat proses pencucian unsur hara yang sangat tinggi. Hal ini terjadi karena perakaran tanaman semusim umumnya tersebar pada lapisan atas yang sangat dangkal, sehingga adanya hujan yang tinggi menyebabkan unsur hara yang diberikan dalam bentuk pupuk cepat sekali terbawa ke lapisan yang lebih dalam. Unsur hara yang masuk ke lapisan bawah sudah di luar jangkauan akar tanaman semusim, sehingga dapat dikatakan "hilang" karena tidak dapat dimanfaatkan. Unsur hara yang hilang ini perlu diselamatkan agar efisiensi penggunaan pupuk dapat ditingkatkan sehingga dapat meningkatkan keuntungan usaha tani di tanah masam.

Memilih tanaman berperakaran dalam

Curah hujan yang tinggi mengakibatkan banyak hara yang hilang terbawa aliran air ke lapisan bawah dan ke samping sehingga kemasaman tanah meningkat, kemudian timbul masalah keracunan Al. Pada umumnya konsentrasi Al di lapisan bawah lebih tinggi dari pada di lapisan tanah atas, sehingga akar tanaman cenderung *menghindari* Al yang beracun tersebut dengan membentuk perakaran yang hanya menyebar di lapisan atas. Akibat berikutnya, akar tanaman semusim yang menderita keracunan Al tersebut tidak dapat menyerap unsur hara secara optimal, juga tidak dapat menyerap unsur hara yang berada di lapisan bawah.

Tumpangsari antara tanaman semusim dengan pohon dapat menyelamatkan unsur hara yang tercuci ke lapisan bawah, karena akar pepohonan yang umumnya tumbuh lebih dalam dapat menyerap unsur hara tersebut (*Gambar 4.9*). 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 dasytrachis*) yang ditanam di sela-sela jagung.

Persaingan akan air dan unsur hara antara akar pepohonan dan akar tanaman semusim terjadi jika akar pohon banyak menyebar secara mendatar di lapisan atas tanah (0-20 cm), di mana sebagian besar akar tanaman semusim menyebar. Pohon yang mempunyai sebaran akar yang demikian tidak cocok ditanam secara tumpangsari atau sebagai tanaman pagar.



Gambar 4.9
Skematis sinkronisasi ketersediaan hara dan saat tanaman membutuhkan serta kedalaman perakaran yang dibutuhkan.

Contoh: Akar petaian (*Peltophorum*) berpotensi untuk membentuk jaring penyelamat hara karena sebaran akarnya lebih dalam daripada akar jagung (Gambar 4.10), sementara lamtoro (*Leucaena leucocephala*) yang berperakaran dangkal pada tanah masam menimbulkan kompetisi akan air dan hara (Gambar 4.11).



Gambar 4.10 Sebaran perakaran petaian yang menyebar dalam di bawah akar jagung, sehingga pohon ini dapat mengurangi N yang hilang tercuci sekitar 70%, bila dibandingkan dengan sistem tanpa pohon (Foto: Pratiknyo Purnomosidhi).



Gambar 4.11 Sebaran perakaran dangkal dari lamtoro menyebabkan kompetisi air dan hara dengan akar jagung. (Foto: Pratiknyo Purnomosidhi).

Seberapa dalam perakaran tanaman yang dibutuhkan?

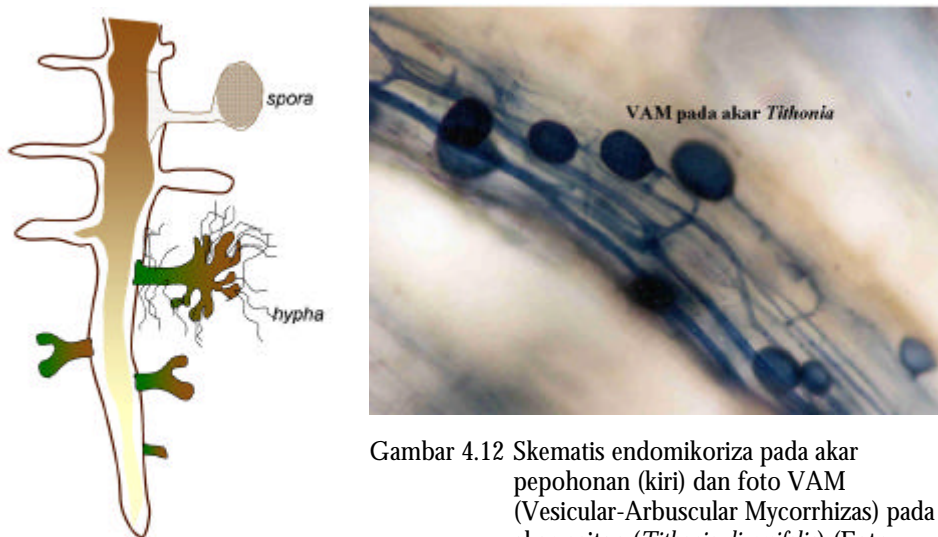
Tingkat jerapan hara dalam tanah ditentukan oleh kapasitas jerapan tanah, yang pada gilirannya ditentukan oleh kandungan liat dan kandungan bahan organik tanahnya. Keberadaan hara bermuatan negatif (anion) dalam tanah, misalnya N sebagai NO_3^- akan lebih mudah tercuci dari pada berbentuk NH_4^+ . Hal ini dikarenakan permukaan liat juga bermuatan negatif sehingga terjadi tolak menolak, maka tingkat jerapan tanah terhadap NO_3^- rendah. Pada kondisi tanah masam transformasi NH_4^+ menjadi NO_3^- oleh mikrobia berlangsung relatif lebih lambat dari pada tanah bereaksi netral, dengan demikian sebenarnya kemasaman tanah akan mengurangi pencucian N.

Berdasarkan perhitungan model statistik oleh Van Noordwijk dan De Willigen (1989), pencucian di daerah Lampung mencapai kedalaman sekitar **0.7 m** per tahun, bila besarnya limpasan permukaan sekitar 10% dari total air hujan. Untuk tanaman yang memiliki kedalaman perakaran sekitar 0.7 m, maka kemungkinan kehilangan N melalui pencucian akan menjadi lebih kecil asalkan proses nitrifikasi berlangsung lambat. Pada kenyataannya kedalaman efektif perakaran tanaman pada tanah masam hanya berkisar antara 0-20 cm saja. Oleh karena itu kemungkinan terjadinya kehilangan hara melalui pencucian menjadi besar. Seleksi tanaman berperakaran dalam pada tanah masam, akan lebih menguntungkan dalam mengurangi pencemaran lingkungan.

C. Infeksi mikoriza

Selain N, unsur hara P juga merupakan faktor pembatas pertumbuhan tanaman yang sering dijumpai pada tanah masam. Pencabutan subsidi pupuk membuat petani mulai menoleh pada pupuk hayati dengan memanfaatkan bahan

yang ada di sekitar mereka. Salah satu di antaranya adalah melalui mikoriza, jasad renik yang dapat meningkatkan ketersediaan P untuk tanaman. Mikoriza mampu menyerap P pada konsentrasi yang sangat rendah di mana akar tanaman (yang tidak terinfeksi mikoriza) tidak mampu menyerapnya. Semakin rendah konsentrasi P dalam larutan tanah, maka peranan mikoriza semakin efektif. Banyak hasil penelitian membuktikan bahwa mekanisme peningkatan serapan P adalah berdasarkan peningkatan sebaran hifa di dalam profil tanah. Hifa dari mikoriza ini merupakan kepanjangan dari akar tanaman yang menembus sel akar, memberikan pengaruh yang sangat menguntungkan karena dapat menambah luas permukaan akar sehingga dapat menambah jumlah serapan air dan P. Gambar skematis dari “*endo-mycorrhiza*” yang berasosiasi dengan akar pepohonan disajikan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Skematis endomikoriza pada akar pepohonan (kiri) dan foto VAM (Vesicular-Arbuscular Mycorrhizas) pada akar paitan (*Tithonia diversifolia*) (Foto: Supriyadi)

Melakukan inokulasi mikoriza kepada akar tanaman di tingkat petani tidak lazim dilakukan. Pemilihan tanaman legume penutup tanah dan pohon yang perakarannya berpotensi tinggi terinfeksi mikoriza sangat dianjurkan sebagai tanaman pagar, guna membantu meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk P.

Pada tanah masam di Nigeria, infeksi mikoriza pada akar tanaman legume penutup tanah (LCC) biasanya rendah berkisar antara 2-6% (Hairiah dan Van Noordwijk, 1986). Gamal memiliki tingkat infeksi mikoriza yang lebih tinggi daripada tanaman pagar lainnya, sedang jagung dan ubi kayu memiliki tingkat infeksi yang tinggi antara 30-40% (Tabel 4.5).

Tabel 4.5 Infeksi mikoriza (% total panjang akar) pada beberapa tanaman legume penutup tanah pada saat tanaman berumur 14 minggu pada tanah masam (Hairiah dan van Noordwijk, 1986).

Jenis LCC	% Infeksi mikoriza
Koro benguk (<i>Mucuna pruriens</i> var. <i>utilis</i>)	3.5
Ki besin (<i>Centrosema pubescens</i>)	7.4
Kacang ruji (<i>Pueraria javanica</i>)	2.9
Kecipir (<i>Psophocarpus palustris</i>)	4.7
<i>Desmodium ovalifolium</i>	5.8
Jagung (<i>Zea mays</i>)	43
Ubi kayu (<i>Manihot esculenta</i>)	32
Gamal (<i>Gliricidia sepium</i>)	12.5
Lamtoro (<i>Leucaena leucocephala</i>)	3.5
<i>Flemingia congesta</i>	1.6
Bulangan (<i>Gmelina arborea</i>)	3.8

D. Menanam tanaman famili leguminose

Penambahan unsur hara N ke dalam tanah dapat melalui dua cara yaitu melalui pemupukan misalnya urea dan penambatan N dari udara. Pemupukan anorganik mempunyai pengaruh sampingan yang kurang baik yaitu selain memasamkan tanah, juga menyebabkan polusi lingkungan karena tingkat pencucian N yang sangat tinggi pada lahan pertanian intensif. Pupuk N juga merupakan sarana produksi yang mahal, terutama setelah dihapuskannya subsidi pupuk. Konsep nutrisi tanaman harus mengintegrasikan unsur hara dan faktor produksi lainnya ke arah pertanian yang produktif dan berkelanjutan, yang dapat mempertahankan kesuburan tanah, produktivitas tanah, dan keuntungan lainnya. Konsep pengelolaan N secara biologi ini mencakup upaya mencapai efisiensi terbesar dalam penggunaan pupuk anorganik dan mengoptimalkan pemanfaatan sumber N alternatif seperti bahan organik dan penambatan N bebas di udara. Udara yang kita hirup sesungguhnya mengandung banyak N (sekitar 78%), tetapi tidak dapat kita manfaatkan seperti yang dilakukan organisme tinggi lain. Unsur N bebas di udara tersebut dapat tersedia bagi tanaman melalui aktivitas mikroorganisme dalam tanah. Penyediaan unsur N secara biologi ini hanya menggunakan energi matahari sehingga merupakan sumber yang murah, dan yang terpenting tidak mengakibatkan polusi lingkungan.

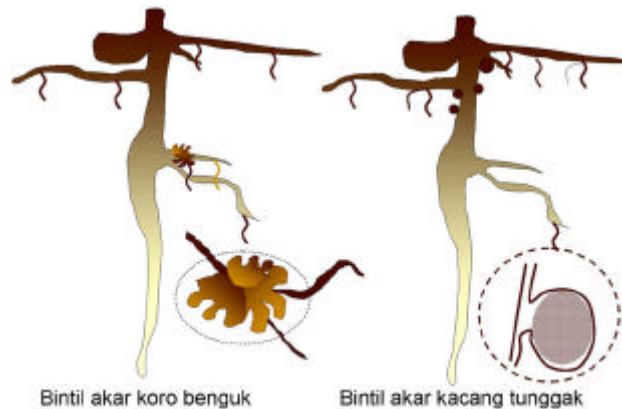
Di antara banyak pilihan dalam penyediaan N dari udara, penambatan N bebas oleh simbiosis legume-rhizobium merupakan sistem yang paling menjanjikan. Bakteri rhizobium yang ada dalam tanah akan menempel pada permukaan bulu akar, kemudian biasanya ujung bulu akar membengkak (melingkar) karena kecepatan pembelahan sel pada ke dua sisi akar yang tidak sama terhenti. Pada bagian dalam lekukan, kerusakan dinding sel tanaman terjadi mengakibatkan bakteri rhizobium dapat memasuki bulu akar. Hal ini diawali dengan pembentukan benang infeksi yang tumbuh sepanjang akar rambut dan

akhirnya mencapai korteks. Bintil akar kemudian terbentuk di mana penambatan N dari udara bebas berlangsung. Rhizobium hidup dalam bintil akar, menggunakan N bebas dari udara tanah, dan mengubahnya menjadi bentuk NH_3 .

Bentuk dari bintil akar ini bermacam-macam, misalnya bintil akar pada koro benguk yang menyerupai kipas, pada kacang tunggak berupa bulatan seperti kelereng dengan permukaan agak kasar (Gambar 4.13). Perakaran tanaman yang mempunyai banyak bintil akar dengan sendirinya menunjukkan bahwa tanaman tersebut merupakan inang Rhizobium yang mempunyai potensi besar sebagai pengikat N.

Apakah penanaman legume dapat meningkatkan N-Kapital?

Pada umumnya tanaman kacang-kacangan (legume) dapat meningkatkan produksi tanaman pangan bila ditanam secara tumpangsari ataupun tumpang gilir, karena jumlah N tanah meningkat akibat adanya tambahan N dari hasil penambatan N bebas di udara. Banyaknya N yang diikat dari udara bervariasi tergantung dari jenis tanamannya. Beberapa jenis legume 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*).



Gambar 4.13 Skematis bintil akar koro benguk (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) dan kacang tunggak (*Vigna unguiculata*)

Tidak semua tanaman legume dapat menguntungkan tanaman lainnya, bahkan ada beberapa legume penghasil biji (*grain legume*) yang justru menyerap N lebih banyak dari pada N yang disumbangkan melalui penambatan N di udara. Giller *et al.* (1995) mengatakan bahwa besarnya kontribusi N tanaman legume melalui penambatan N ditentukan oleh besarnya **Indeks Panen-N** (*N-Harvest Index*) tanaman tersebut. Indeks Panen-N ini merupakan persentase jumlah N yang ada di biji per total jumlah N di tajuk. Index panen-N tinggi artinya apabila sebagian besar N asal fiksasi N ditumpuk dalam biji tanaman maka N tersebut

akan terangkut keluar tanah bersama panen. Dengan demikian jumlah N yang tersisa yang kembali ke dalam tanah (kapital N) melalui pengembalian sisa panen dan akar-akar yang tertinggal dalam tanah tidak akan memberikan sumbangan yang berarti bagi tanaman yang ditanam selanjutnya atau bahkan justru menimbulkan kahat N. Dan bila legume ditanam secara tumpangsari akan merugikan tanaman lainnya. Jadi menanam legume yang memiliki index panen-N tinggi akan menghasilkan cadangan (kapital) N yang rendah.

Penelitian-penelitian pengelolaan N banyak melakukan pengukuran penambatan N oleh legume di lapangan, namun sayangnya tidak dikaitkan dengan indeks panen-N tanaman pada setiap system pola tanam sehingga kurang membantu petani dalam menentukan strategi pengelolaan N. Contoh sintesis data penambatan N dan indeks panen-N dapat dilihat pada contoh kasus 4.3 dan 4.4 berikut ini.

Contoh Kasus 4.2

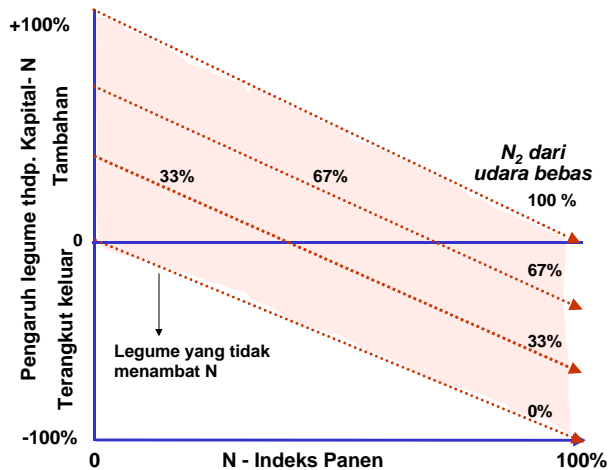
Cara mengevaluasi peranan Legume untuk meningkatkan kapital-N

Untuk penilaian itu perlu dibuat diagram (Gambar 4.14) sebagai alat bantu. Gambar tersebut memberikan ilustrasi secara skematis tentang penilaian keuntungan tanaman legume dalam memperbaiki kapital-N tanah.

1. Dibuat sumbu Y sebagai pengaruh legume terhadap kapital N tanah. Sumbu Y ini dibagi menjadi dua yaitu:
 - (a) Nilai positif merupakan tambahan N hasil penambatan dari udara, nilainya berkisar antara 0-100%.
 - (b) Nilai negatif merupakan jumlah N yang terangkut keluar tanah, nilainya berkisar antara 0-100%.
2. Dibuat sumbu X tegak lurus sumbu Y yang merupakan nilai Index panen (jumlah N biji per jumlah total N pada tajuk), nilainya berkisar antara 0-100%.
3. Ditarik garis diagonal yang menghubungkan sumbu Y dan sumbu X yang menunjukkan jumlah N yang tertambat maupun yang terangkut keluar plot. Garis diagonal paling atas menunjukkan besarnya penambatan N 100% yang tidak mungkin diperoleh pada kondisi sebenarnya di lapangan, sedang garis paling bawah menunjukkan bahwa legume yang tidak menambat N dari udara bebas.

Dengan demikian untuk tujuan praktis jumlah netto N dari berbagai jenis tanaman legume dapat diletakkan dalam bagian terarsir pada gambar tersebut. Informasi ini akan membantu petani/penyuluh dalam mengklasifikasikan pengaruh legume, menjadi:

- (a) *menguntungkan* bila nilai netto yang diperoleh positif
- (b) *netral*, tidak memberikan keuntungan terhadap penyediaan N tetapi mungkin hanya menguntungkan bila ditinjau dari segi C-organik.
- (c) *merugikan* bila nilai netto negatif (misalnya kacang tanah varietas lokal di Lampung)



Gambar 4.14 Hubungan skematis pengaruh tanaman legume terhadap kapital N tanah (Giller *et al.*, 1994)

Contoh Kasus 4.3

Apakah penyisipan Legume dalam pola tanam meningkatkan kapital-N?

Berikut adalah hasil perhitungan neraca N dari 2 pola tanam yang diuji pada tanah masam di Lampung, yaitu: budidaya pagar dan sistem tumpang gilir antara tanaman legume dengan tanaman pangan. Tanaman pagar gamal (*Gliricidia sepium*) dan petaian (*Peltophorum dasyrrachis*) ditanam berselang seling dalam baris dibandingkan dengan *Flemingia* saja sebagai tanaman pagar. Untuk sistem tumpang gilir, legume yang ditanam adalah kacang tanah diikuti kacang tunggak. Tanaman pangan yang ditanam adalah tumpangsari jagung dan padi. Untuk mengukur neraca N pada setiap system pola tanam ditentukan besarnya N yang terangkut keluar plot dan N yang masuk ke dalam tanah hasil dari penambatan N di udara selama 2–3 tahun. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Neraca N per tahun pada sistem budidaya pagar berumur 2 dan 3 tahun (yang ditunjukkan dengan angka dalam kurung) dan tumpang gilir. Jumlah N tertambat dari udara pada tahun ke tiga ditetapkan hanya berdasarkan asumsi bahwa jumlahnya sama dengan yang diperoleh pada tahun ke 2 (Hairiah *et.al.*, 2000).

	Budidaya pagar		Tumpang gilir Kc. Tanah - Kc Tunggak
	Petaian+gamal	<i>Flemingia</i>	
	Kg ha th ⁻¹		
N-terangkut keluar¹⁾	34 (70)	37 (82)	77 (110)
N- kembali ke dalam tanah			
Penambatan oleh pohon (hanya dilakukan oleh gamal, petaian tidak memiliki bintil akar)	38	35	0
Penambatan oleh kc.tanah	20	16	34
Penambatan oleh kc.tunggak	3	8	18
Neraca N per sistem²⁾	27 (-9)	22 (-19)	-25 (-53)

Keterangan:

- 1) N-terangkut keluar tanah melalui pengangkutan hasil panen yaitu biji padi, jagung dan kacang tanah atau kacang tunggak.
- 2) Neraca N per system: merupakan hasil pengurangan N yang masuk ke dalam tanah (hasil dari pengembalian sisa panen, pangkasan tanaman pagar (untuk system budidaya pagar) dan hasil penambatan N di udara) dengan N yang keluar tanah. Masukan lewat akar yang tertinggal dalam tanah untuk sementara tidak dimasukkan dalam perhitungan.

Contoh kasus 4.3 (Lanjutan)

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut dapat dilihat bahwa pada sistem budi daya pagar jumlah N yang ditambah oleh kacang tanah dan kacang tunggak jauh lebih rendah dari pada sistem tumpang gilir. Kacang tanah mampu menambat N di udara sekitar $35 \text{ kg ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$, sedangkan kacang tunggak hanya separuhnya. Tanaman pagar gamal dan *Flemingia* menambahkan N dalam jumlah yang kurang lebih sama dengan yang diberikan oleh kacang tanah. Namun yang perlu dilihat disini adalah N yang terangkut keluar tanah lewat panen, di mana pada system rotasi kehilangan N sekitar $77 \text{ kg ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$. Sedangkan kehilangan N pada system budi daya pagar hanya sekitar separuhnya, karena ada pengembalian N melalui pengembalian pangkasan tajuk.

Perhatikan pada nilai neraca N dari setiap system. Disini dapat dilihat bahwa pada umur 2 tahun system budi daya pagar memberikan saldo positif, artinya system ini masih mampu menyumbangkan N ke dalam tanah sekitar $25 \text{ kg ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$. Sedangkan pada system tumpang gilir, penanaman legume tidak dapat menutup kehilangan N melalui pengangkutan panen. Neraca N yang diperoleh sekitar $-25 \text{ kg ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$. Pada system tumpang gilir ini nampaknya masih diperlukan penambahan pupuk N (misalnya urea) dalam jumlah sedikit paling tidak hanya untuk menggantikan N yang hilang tersebut. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tidak semua tanaman legume dapat memperbaiki kapital N tanah. Faktor pengelolaan lain dalam satu sistem pola tanam sangat menentukan besar kecilnya sumbangan N tanaman legume.

Hal yang dapat dipelajari disini bahwa untuk tujuan studi pembangunan kapital N tanah dengan menanam tanaman legume di dalam sistem pola tanam, maka ada 2 hal yang perlu dipertimbangkan yaitu:

- Indeks panen-N. Index Panen-N rendah artinya produksi polong tinggi dengan kandungan N rendah namun biomas yang ditinggalkan cukup banyak akan sangat menguntungkan bagi tanaman yang ditanam pada musim berikutnya atau tanaman yang ditanam bersamaan.
- Jumlah sisa panen yang banyak agar kapital N dapat terjaga baik untuk jangka pendek maupun panjang.

Dan perbaikan strategi pengelolaan tanah harus dilakukan berdasarkan hasil pengamatan kuantitatif dalam jangka panjang.

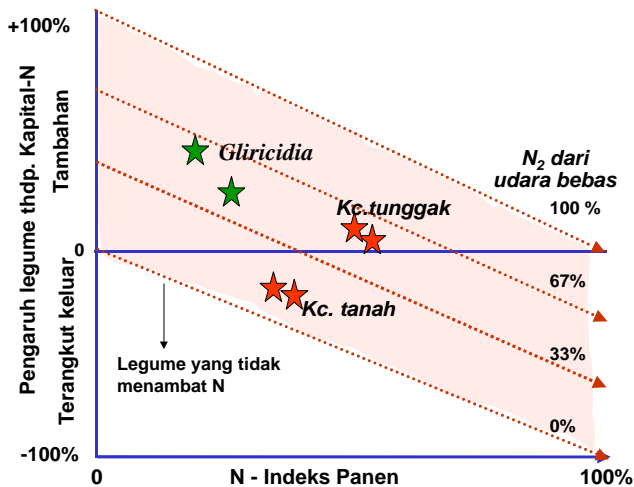
Contoh Kasus 4.4. Dapatkan legume menambah kapital N tanah?

Berikut adalah hasil pengukuran penambatan N dari udara oleh beberapa jenis tanaman legume pada tanah masam di Lampung. Tanaman legume yang ditanam adalah kacang tanah, kacang tunggak, gamal dan *Flemingia* (Tabel 4.6.).

Tabel 4.6. Besarnya N yang ditambah dari udara (fiksasi), jumlah N dalam biji dan neraca N dari berbagai jenis tanaman. Neraca N = penambatan N di udara – N yang tertumpuk di biji.

Jenis Tanaman	Total N tajuk kg ha ⁻¹	Penambatan N %	Penambatan N kg ha ⁻¹	N-biji kg ha ⁻¹	Neraca N kg ha ⁻¹
Kacang tanah	48	46	22	26	- 4
Kacang tunggak	31	52	16	37	- 21
Gamal	26	57	15	0	+ 15
Flemingia	79	28	22	0	+ 22

Dari tabel tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai neraca N positif dapat diartikan sebagai kontribusi N ke dalam tanah hanya ditunjukkan oleh tanaman pagar gamal dan *Flemingia*, karena tidak ada pemanenan polong. Sedang pada kacang tanah dan kacang tunggak sebagian besar N ditumpuk di dalam biji yang semuanya diangkat ke luar plot bersama panen. Dengan demikian kedua legume penghasil biji ini tidak menambah N ke dalam tanah. Bila pada tahun berikutnya lahan ditanami tanaman pangan misalnya jagung dan lahan tidak dipupuk, maka jagung akan mengalami kahat N. Informasi neraca N ini selanjutnya bisa dimasukkan ke dalam gambar 4.13. Gambar ini dapat dipakai sebagai alat bantu untuk memudahkan petani/penyuluh mengenali jenis-jenis legume yang menguntungkan/merugikan bagi peningkatan kapital N.



E. Memilih tanaman yang tahan terhadap keracunan Al

Teknik ini memberikan pengaruh yang menguntungkan terhadap kualitas lingkungan karena tidak melibatkan tindakan modifikasi lingkungan pertumbuhan. Modifikasi lingkungan pertumbuhan antara lain meliputi pemupukan, pengolahan tanah, dan pengairan. Namun teknik ini kurang dapat memenuhi keinginan petani yang umumnya menghendaki tanaman yang bernilai ekonomis tinggi yang pada umumnya tingkat ketahanannya rendah terhadap keracunan Al. Selain itu, untuk perbaikan sifat tanaman secara genetik memerlukan waktu yang lama.

Strategi pemilihan jenis-jenis tanaman yang tahan terhadap keracunan Al dapat didasarkan pada:

- a. Modifikasi sifat (*inherent*) tanaman melalui tes genetik untuk menjadi lebih toleran terhadap kemasaman tinggi. Teknik ini biasanya dilakukan pada jenis-jenis tanaman bernilai ekonomis tinggi tetapi tidak tahan terhadap kemasaman tinggi.
- b. Tanpa modifikasi sifat tanaman. Pada strategi ini dilakukan inventarisasi tanaman yang dapat tumbuh pada tanah-tanah yang memiliki masalah Al. Petani lokal umumnya memiliki pengetahuan sangat luas tentang tanaman yang toleran pada tanah masam, namun demikian transfer pengetahuan ini ke tempat lain masih perlu hati-hati karena masalah tanah masam ini cukup kompleks: apakah faktor penghambat pertumbuhan tanaman disebabkan oleh keracunan Al, Mn atau kekahatan P atau kation basa yang lain. Sebagai contoh kedelai dan tebu yang tumbuh di daerah Lampung Utara, produksi yang dihasilkan sangat rendah bila tidak diiringi dengan masukan tinggi, namun di Queensland (Australia) tebu dapat berproduksi tinggi pada tanah masam. Sehingga kultivar yang toleran pada suatu daerah masih perlu di uji ditempat lain.

Beberapa tanaman yang toleran terhadap kemasaman tinggi disajikan pada Tabel 4.8. Sedang beberapa tanaman yang menunjukkan hasil kurang memuaskan pada tanah masam antara lain: kedelai, kapas, jagung.

Masalah dalam seleksi tanaman yang tahan terhadap keracunan Al

Seleksi tanaman biasanya hanya menghasilkan dua kelompok yaitu: tahan (toleran) dan tidak tahan. Tanaman yang tahan terhadap keracunan Al adalah tanaman yang dapat tumbuh dengan baik pada kondisi apa adanya. Sedangkan tanaman yang tidak tahan adalah tanaman yang tidak dapat tumbuh sempurna bila tidak ada usaha manusia untuk memodifikasi lingkungan tumbuhnya.

Kenyataannya beberapa jenis tanaman menunjukkan sifat yang tidak termasuk dalam kelompok tersebut di atas yaitu adanya sifat menghindari (*avoidance*). Menurut Marschner (1989) strategi menghindari adalah menyangkut kemampuan akar tanaman dalam merubah lingkungan di rhizosphere melalui peningkatan pH atau eksudasi asam organik atau diendapkan dalam akar. Sedang Hairiah (1992) menjabarkan '*avoidance*' sebagai respon akar tanaman untuk

menghindari tempat-tempat yang kurang menguntungkan atau meningkatnya aktivitas akar pada tempat-tempat yang menguntungkan. Respon lokal akar ini dapat dilihat pada Contoh Kasus 4.5.

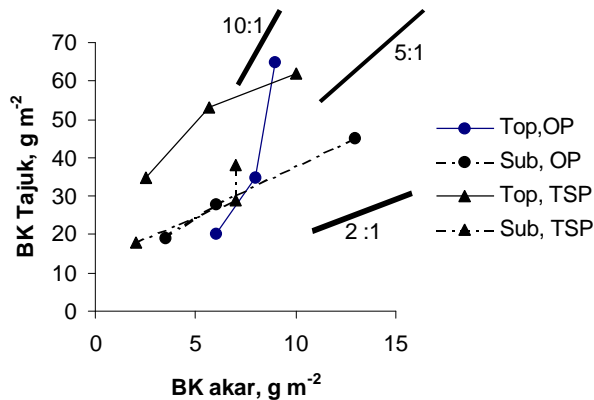
Tabel 4.8 Beberapa contoh tanaman yang toleran terhadap tingkat kemasaman tinggi.

Kelompok	Nama lokal	Nama ilmiah
Tanaman Pangan	Padi, nanas	<i>Zea mays</i> , <i>Ananas comosus</i>
Palawija	Kacang tanah	<i>Arachis hypogea</i>
	Kacang tunggak	<i>Vigna unguiculata</i>
	Gude	<i>Cajanus cajan</i>
Tanaman keras ("cash crop")	Kopi	<i>Coffea canephora</i>
	Teh	<i>Thea sinensis</i> = <i>Camellia sinensis</i>
	Kelapa sawit	<i>Elaeis guinensis</i>
	Karet	<i>Hevea brasiliensis</i>
Pohon buah-buahan	Rambutan	<i>Nephelium lappaceum</i>
	Nangka	<i>Artocarpus heterophylus</i>
	Duren	<i>Durio zibethinus</i>
	Cempedak	<i>Artocarpus integer</i>
	Duku	<i>Lansium domesticum</i>
	Manggis	<i>Garcinia mangostana</i>
	Jambu air	<i>Syzygium aqueum</i>
	Jambu biji	<i>Psidium guajava</i>
	Jambu monyet/jambu mede	<i>Anacardium occidentale</i>
	Mangga	<i>Mangifera indica</i>
	Sirsak	<i>Anona muricata</i>
	Pete	<i>Parkia speciosa</i>
	Jengkol	<i>Pithecellobium jiringa</i>
Pohon penghasil kayu (Timber)	Sungkai/jati belanda/jati seberang	<i>Perunema inerme</i>
	Pulai	<i>Alstonia spp</i>
	Bulangan	<i>Gmelina arborea</i>
	Sengon putih	<i>Paraserienthes falcata</i>
	Mahoni	<i>Swietenia mahagoni</i>
	Mangium	<i>Acacia mangium</i>
Tanaman pagar	Petaian	<i>Peltophorum dasyrrachis</i>
	Gamal	<i>Gliricidia sepium</i>
	Flemingia	<i>Flemingia congesta</i>
	Lamtoro	<i>Leucaena leucocephala</i>
Tanaman Legume penutup tanah (LCC)	Orok-orok (Jawa)	<i>Crotalaria juncea</i>
	Callopo	<i>Calopogonium mucunoides</i>
	Callopo	<i>Calopogonium caeruleum</i>
	Centro	<i>Centrosema pubescens</i>
	Kacang asu (bhs jawa)	<i>Pueraria phaseoloides</i>
	Kacang benguk	<i>Mucuna pruriens</i> var. <i>utilis</i>
Tanaman liar	Melastoma	<i>Melastoma</i> sp.
	Krinyu	<i>Chromolaena odorata</i>

Contoh kasus 4.5

Respon lokal akar Koro bengkok (*Mucuna pruriens* var. *utilis*): menghindari keracunan Al pada lapisan tanah bawah

Sebagai contoh *Mucuna* cukup toleran tumbuh pada tanah masam di Lampung, namun sebaran perakarannya dangkal dikarenakan tingginya konsentrasi Al di lapisan bawah. Bila lapisan atas telah hilang (ditunjukkan dengan garis putus) misalnya karena erosi, sebaran akar *Mucuna* dapat tumbuh cukup baik pada lapisan yang lebih dalam baik dipupuk P maupun tidak. Namun demikian pertumbuhan tajuk tidak meningkat karena ketersediaan hara lainnya rendah. Jadi peningkatan pertumbuhan akar **tidak selalu** diikuti oleh peningkatan pertumbuhan tajuk (Gambar 4.15). Contoh studi kasus ini membuktikan bahwa *Mucuna* toleran terhadap konsentrasi Al tinggi bila tidak ada pilihan yang lebih baik, namun bila ada pilihan akar *Mucuna* masih memilih tumbuh di lapisan atas karena kandungan P yang lebih tinggi.



Gambar 4.15 Berat kering (BK) tajuk dan akar koro bengkok pada berbagai kondisi tanah (Top= lapisan atas masih utuh dan Sub = lapisan atas telah hilang) dengan perlakuan pemupukan P (0 P = tanpa pupuk P dan TSP = ditambah pupuk P 1 ton ha⁻¹) (Hairiah, 1992)

Contoh studi kasus ini memberikan informasi berguna untuk perbaikan teknik seleksi tanaman yang umumnya hanya dilakukan pada kondisi tanah yang homogen, sedang kondisi di lapang lebih heterogen.

Suksesnya pemilihan tanaman yang toleran terhadap kemasaman tinggi seringkali kurang didukung oleh nilai ekonomis yang tinggi, seperti misalnya produksi rambutan, nangka dan nanas yang berlebihan namun harganya sangat murah. Kenyataan tersebut membuat petani berpaling pada komoditi lain yang lebih menguntungkan yang biasanya membutuhkan masukan tinggi sehingga teknologi pengelolaan masukan rendah yang diperoleh kurang diminati oleh petani.

4.3 Teknik mana yang berkelanjutan?

Tidak ada satupun teknik yang ideal yang dapat memecahkan semua masalah yang cukup kompleks di lapangan. Namun bila kita mengetahui masalah yang terjadi di lapangan dan memahami proses-proses yang terjadi selama penanganannya, maka strategi pengelolaan tanah masam dapat dirubah sesuai dengan kondisi dan kebutuhan.

Mengingat pemulihan (restorasi) kesuburan tanah-tanah terdegradasi memerlukan waktu yang sangat lama, maka pengelolaan tanah yang tepat perlu mendapat perhatian yang serius. Penentuan strategi pengelolaan tanah dipengaruhi oleh tujuannya, untuk jangka pendek atau jangka panjang. Misalnya bagi petani kecil menanam tanaman yang kurang tahan terhadap kemasaman tinggi tetapi bernilai ekonomis tinggi dapat ditumpangsarikan atau bergilir dengan tanaman yang toleran terhadap kemasaman tinggi. Menanam tanaman yang toleran terhadap kandungan Al tinggi ini akan berguna untuk jangka panjang melalui perbaikan sifat fisik tanah dan mempertahankan kandungan bahan organik tanah. Dari hasil penelitian BMSF (Biological Management of Soil Fertility) pada Ultisols di daerah Pakuan Ratu, Lampung, selama 15 tahun, telah menghasilkan sepuluh prinsip pengelolaan tanah-tanah secara biologi yang apabila dituliskan dalam Bahasa Inggris huruf awal setiap butir dapat membentuk kata yang mudah diingat yaitu "**MOTHER SOIL**" yang kepanjangannya sebagai berikut:

- | | |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| M | aintain biodiversity |
| O | ptimize biological N ₂ fixation |
| T | une demand for and supply of N to minimize losses and need for fertilizer. |
| H | ave deep-rooted components included as ' <i>safety-nets</i> ' for leaching nutrients |
| E | ffectice acid soil tolerant germplasm and Al-detoxification by organic matter |
| R | eplace phosphorus and cations exported in harvested products |
| S | upply permanent soil cover |
| O | mit or minimize soil tillage |
| I | ntegrate 'service' components (cover crops, trees) into the cropping system |
| L | et excessive rainfall escape via by-pass flow channels |

Prinsip pengelolaan pertama “**mother**”, perhatian lebih dipusatkan kepada usaha mempertahankan keanekaragaman hayati (**M**) melalui pengelolaan bahan organik tanah, pengaturan penyediaan hara dan meningkatkan efisiensi serapan hara. Khusus untuk penyediaan hara N, menanam tanaman legume berpotensi untuk mempertahankan konsentrasi N dalam tanah (**O**). Mengingat tingginya mobilitas N dalam tanah, pemilihan kualitas bahan organik merupakan strategi yang paling mendasar untuk meningkatkan sinkronisasi ketersediaan hara dengan saat tanaman membutuhkannya (**T**). Sinkronisasi hara ini juga dapat ditingkatkan dengan pemilihan tanaman yang berperakaran dalam yang dapat berperan sebagai jaring penyelamat hara (**H**). Pemilihan varietas tanaman yang toleran terhadap Al perlu dipertimbangkan untuk mengurangi penggunaan kapur yang dapat meningkatkan N tercuci ke lapisan bawah (**E**). Selain daripada itu pengelolaan harus diusahakan untuk mengganti hara terutama P yang hilang terangkut panen (**R**).

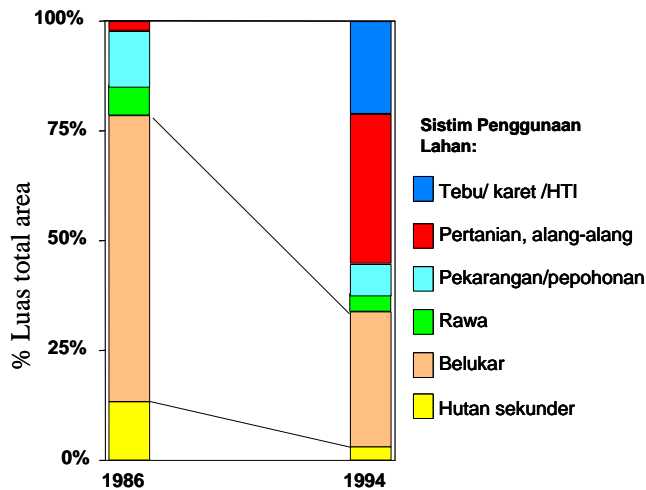
Kelompok ke dua “**soil**”, di mana pengelolaan lebih difokuskan untuk jangka panjang yaitu mempertahankan sifat fisik tanah. Usaha pengelolaan sifat fisik tanah harus dipusatkan kepada perbaikan porositas tanah untuk mengurangi limpasan permukaan dan erosi melalui penutupan permukaan tanah (**S**) dan menghindari atau meminimalkan pengolahan tanah (**O**). Penggunaan tanaman legume penutup tanah atau pepohonan dalam satu pola tanam yang permanen serta usaha pengembalian sisa panen dapat menjadi pelindung lapisan permukaan tanah dari erosi, kekeringan, dan tumbuhnya gulma alang-alang (**I**). Akar-akar tanaman penutup tanah yang telah mati akan meninggalkan rongga besar yang dapat berfungsi sebagai jalur cepat aliran air, sehingga akan mengurangi genangan air hujan yang berlebihan (**L**).

Berdasarkan pada uraian panjang lebar diatas maka usaha **pengelolaan tanah masam secara biologi dan terintegrasi** nampaknya merupakan strategi pengelolaan yang lebih menjanjikan untuk mencapai produktivitas yang berkelanjutan.

5 Sistem agroforestri: tawaran untuk pemecahan masalah

5.1 Pendahuluan

Pertambahan penduduk selama beberapa dekade terakhir di Lampung menjadi salah satu pendorong perubahan penggunaan lahan dari kawasan hutan menjadi lahan pemukiman, pertanian dan perkebunan. Hal itu mengakibatkan luasan kawasan hutan semakin berkurang. Pada tahun 1986 sekitar 80 % dari total luasan daerah Lampung Utara masih berupa hutan primer dan sekunder, sedangkan pada tahun 1994 hanya tersisa sekitar 35% (van Noordwijk *et al.*, 1995). Sebagian besar kawasan hutan ternyata telah berubah menjadi lahan pertanian dan perkebunan tebu, karet dan HTI (Gambar 5.1).



Gambar 5.1 Luasan total hutan dan lahan pertanian dan sistem penggunaan lahan lainnya di daerah Lampung Utara di tahun 1986 dan 1994 (Van Noordwijk *et al.*, 1995).

Berkurangnya luasan hutan di kawasan ini menimbulkan lebih banyak dampak negatif, misalnya banjir, erosi dan longsor, degradasi lahan, penurunan produktivitas tanah, perubahan iklim, dan penurunan biodiversitas. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, telah disepakati bahwa fungsi hutan yang telah hilang harus dikembalikan. Idealnya kawasan ini harus dihutankan kembali. Namun karena banyak penduduk yang hidupnya bergantung pada kawasan bekas hutan, usaha penghutanan kembali bukan pemecahan yang realistis. Pemerintah dengan terpaksa mempertahankan kawasan hutan yang masih ada agar tidak

dikonversi menjadi lahan pertanian. Upaya lain yang dilakukan adalah dengan menggalakkan pertanian campuran dengan memperbanyak pepohonan di antara tanaman semusim pada lahan pertanian, yang dikenal sebagai **SISTEM AGROFORESTRI**. Disatu sisi agroforestri dapat menghasilkan pangan dan di sisi lain diharapkan bisa memperbaiki kualitas tanah dan lingkungan.

5.2 Pengertian agroforestri

Dalam Bahasa Indonesia, *agroforestry* dikenal dengan istilah **wanatani** atau **agroforestri**, arti sederhananya adalah menanam pepohonan di lahan pertanian. Sistem ini telah dipraktikkan oleh petani di berbagai tempat di Indonesia selama berabad-abad, misalnya sistem ladang berpindah, kebun campuran di lahan sekitar rumah (pekarangan) dan padang penggembalaan. Menurut De Foresta *et al.* (1997), agroforestri dapat dikelompokkan menjadi dua sistem, yaitu *sistem agroforestri sederhana* dan *sistem agroforestri kompleks*.

Sistem agroforestri sederhana adalah menanam pepohonan secara tumpang-sari dengan satu atau beberapa jenis tanaman semusim. Jenis-jenis pohon yang ditanam bisa bernilai ekonomi tinggi misalnya kelapa, karet, cengkeh dan jati atau bernilai ekonomi rendah seperti dadap, lamtoro dan kaliandra. Salah satu contoh sistem agroforestri sederhana ini dapat dilihat pada Gambar 5.2. Sedang jenis tanaman semusim misalnya padi, jagung, palawija, sayur-mayur dan rerumputan atau jenis tanaman lain seperti pisang, kopi dan kakao. Pepohonan bisa ditanam sebagai pagar mengelilingi petak lahan tanaman pangan atau ditanam berbaris dalam larikan sehingga membentuk lorong/pagar.



Gambar 5.2 Sistem agroforestri sederhana terdiri dari karet ditumpangsarikan dengan ubi kayu dan cabe. (Foto: Kurniatun Hairiah)

Sistem agroforestri kompleks, merupakan suatu sistem pertanian menetap yang berisi banyak jenis tanaman (*berbasis pohon*) yang ditanam dan

dirawat dengan pola tanam dan ekosistem menyerupai hutan. Di dalam sistem ini tercakup beraneka jenis komponen seperti pepohonan, perdu, tanaman musiman dan rerumputan dalam jumlah banyak. Kenampakan fisik dan dinamika di dalamnya mirip dengan ekosistem hutan alam baik hutan primer maupun hutan sekunder. Sistem agroforestri kompleks dibedakan menjadi dua, yaitu (a) pekarangan berbasis pepohonan dan (b) agroforest kompleks.

Pekarangan biasanya terletak disekitar tempat tinggal, luasnya terbatas (sekitar 0.1 – 0.3 ha) dan sistem ini lebih mudah dibedakan dengan hutan. Contoh: kebun talun, karang kitri dsb.

Agroforest kompleks, merupakan hutan masif yang merupakan mosaik (gabungan) dari beberapa kebun berukuran 1-2 ha milik perorangan atau berkelompok, letaknya jauh dari tempat tinggal bahkan terletak pada perbatasan desa, dan biasanya tidak dikelola secara intensif. Contoh: kebun karet, kebun damar dsb (Gambar 5.3).

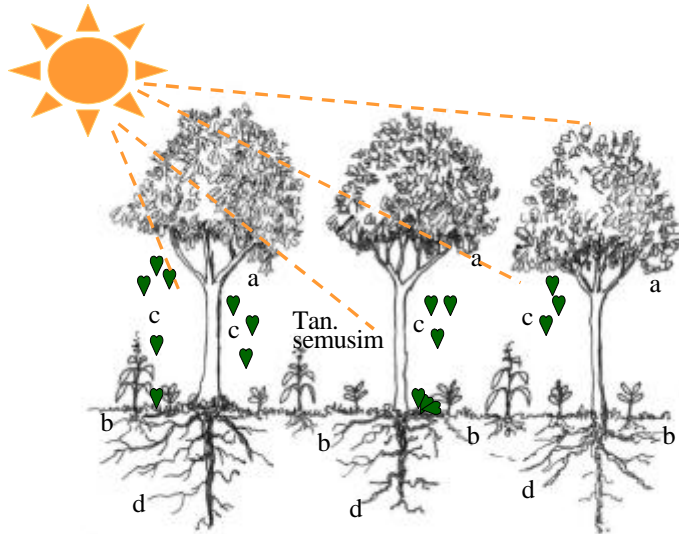


Gambar 5.3 Kebun karet milik petani sebagai salah satu contoh Agroforest kompleks (umur sekitar 5 tahun). Kebun terdiri dari berbagai jenis pepohonan seperti jengkol, pete, dan berbagai pohon penghasil timber. Pada bagian bawahnya ditumbuhi tanaman liar lain seperti pakis dsb. (Foto: Meine van Noordwijk).

5.3 Interaksi pepohonan – tanaman semusim – tanah

Menanam pohon secara tumpang sari dengan tanaman semusim, pada satu tempat dan waktu yang bersamaan maupun bergiliran (*sistem bera*), merupakan pola dasar sistem agroforestri. Pada sistem agroforestri terjadi *interaksi* yaitu adanya proses yang saling mempengaruhi dari komponen-komponen penyusun agroforestri (Gambar 5.4). Interaksi tersebut bisa positif (*komplimentasi*) atau negatif (*kompetisi*). Oleh karena itu dalam memilih jenis pohon yang menjadi

komponen agroforestri harus didasarkan pada sifat dan bentuk pohon yang berpengaruh terhadap tanaman semusim, apakah merugikan atau menguntungkan.



Gambar 5.4 Interaksi antara pohon dan tanaman pangan pada sistem agroforestri. (a = naungan; b= kompetisi akan air dan hara; c = daun gugur (seresah) dari pohon berguna untuk menambah C, N, P dan hara lainnya; d = pohon berperakaran dalam berperan penting sebagai *jaring penyelamat hara* yang tercuci ke lapisan bawah).

5.3.1 Pengaruh pohon yang merugikan

Beberapa pengaruh pohon yang merugikan bila ditanam secara tumpangsari dengan tanaman semusim antara lain:

- Kompetisi cahaya

Pohon biasanya tumbuh lebih tinggi daripada tanaman semusim, oleh karena itu kanopi pohon akan menaungi tanaman semusim.

- Kompetisi air dan hara

Akar pepohonan dan tanaman semusim yang berkembang di lapisan yang sama akan saling berebut air dan hara sehingga mengurangi jumlah yang dapat diserap tanaman semusim. Kompetisi antara dua jenis tanaman terjadi bila kedua jenis tanaman (atau lebih) membutuhkan sumberdaya yang sama dan ketersediaan sumberdaya yang dibutuhkan tersebut terbatas. Tanaman yang pertumbuhannya cepat membutuhkan cahaya, air dan hara yang lebih banyak. Oleh karena itu pemilihan pohon dalam sistem agroforestri harus mempertimbangkan kecepatan tumbuhnya serta kebutuhan tanaman lain yang tumbuh pada lahan yang sama.

- Inang penyakit

Seringkali pepohonan dapat menjadi inang hama dan penyakit untuk tanaman semusim.

5.3.2 Pengaruh pohon yang menguntungkan

Penanaman pohon yang ditumpang-sarikan dengan tanaman semusim ternyata dapat memberikan keuntungan bagi tanaman semusim.

- a) Sumber bahan organik

Daun pepohonan yang gugur dan hasil pangkasan yang dikembalikan ke dalam tanah dapat menjadi rabuk sehingga tanah menjadi remah. Berapa banyaknya masukan daun gugur setiap tahunnya?

- b) Menekan gulma

Naungan pohon dapat menekan pertumbuhan gulma terutama alang-alang dan menjaga kelembaban tanah sehingga mengurangi risiko kebakaran pada musim kemarau. Adanya naungan dari pohon dapat memberikan keuntungan bagi tanaman tertentu yang menghendaki naungan misalnya kopi.

- c) Mengurangi kehilangan hara

Akar pepohonan yang dalam dapat memperbaiki daur ulang hara, melalui beberapa cara, antara lain:

- Akar pohon menyerap hara di lapisan atas dengan jalan berkompetisi dengan tanaman pangan, sehingga mengurangi pencucian hara ke lapisan yang lebih dalam. Namun pada batas tertentu kompetisi ini akan merugikan tanaman pangan.
- Akar pohon berperan sebagai "jaring penyelamat hara" yaitu menyerap hara yang tidak terserap oleh tanaman pangan pada lapisan bawah selama musim pertumbuhan (lihat contoh kasus 5.1).
- Akar pohon berperan sebagai "pemompa hara" terutama pada tanah-tanah subur, yaitu menyerap hara hasil pelapukan mineral/batuan induk pada lapisan bawah. Namun hal ini masih bersifat hipotesis, dan masih perlu penelitian lebih lanjut.

- d) Memperbaiki porositas tanah

Akar pepohonan berperan memperbaiki struktur tanah dan porositas tanah, misalnya akar pohon yang mati meninggalkan lubang pori. Lihat contoh kasus 5.2.

- e) Menambat N dari udara

Pohon berbunga kupu-kupu (legume) dapat menambat N langsung dari udara, sehingga dapat mengurangi jumlah pupuk yang harus diberikan.

f) Menekan serangan hama & penyakit

Ada pepohonan yang dapat mengurangi populasi hama dan penyakit tertentu.

g) Menjaga kestabilan iklim mikro

Pepohonan yang ditanam cukup rapat dapat menjaga kestabilan iklim mikro, mengurangi kecepatan angin, meningkatkan kelembaban tanah dan memberikan naungan parsial (misalnya *Erythrina* (dadap) pada kebun kopi).

h) Mengurangi bahaya erosi

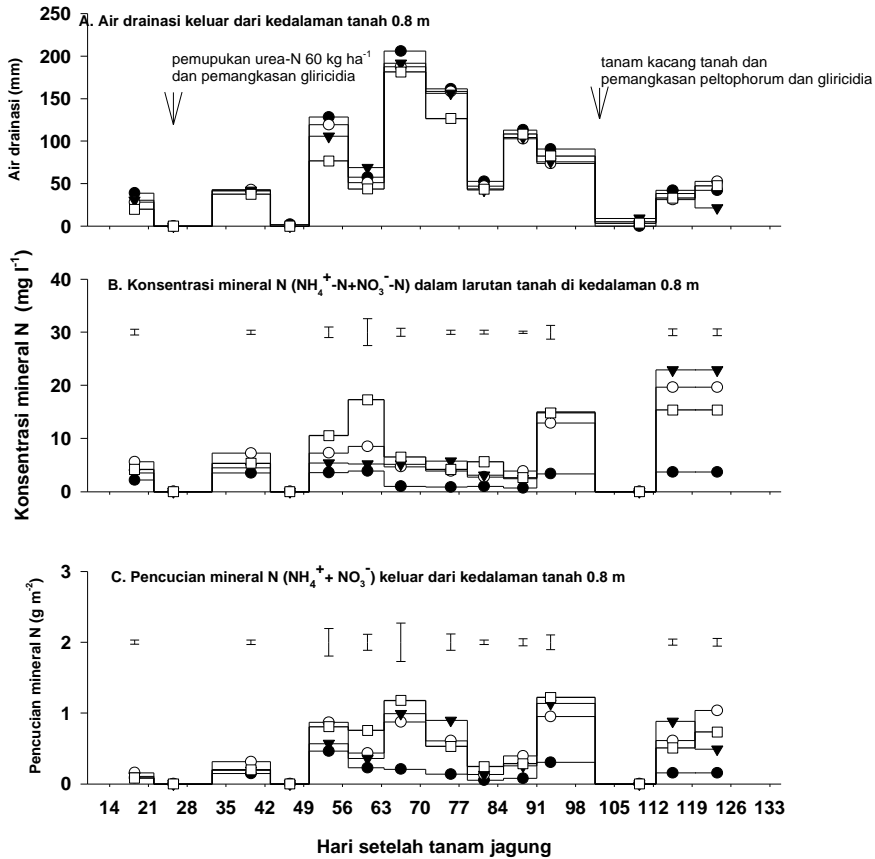
Untuk jangka panjang mengurangi bahaya erosi, melalui pengaruhnya terhadap perbaikan kandungan bahan organik tanah dan struktur tanah.

Contoh Kasus 5.1
Akar pohon sebagai jaring penyelamat hara

Pengukuran N tercuci dilakukan pada kedalaman 0.8 m dan > 0.8 m pada sistem budi daya pagar di Pakuan Ratu, Lampung (Suprayogo *et al.*, 2000). Tanaman pagar ditanam pada tahun 1985 yaitu petaian (*Peltophorum*), gamal (*Gliricidia*). Tanaman pagar tersebut ditanam berbaris dengan jarak tanam 4 x 0.5 m atau sebagai campuran baris petaian berselang seling dengan gamal. Jumlah N mineral (NH_4^+ dan NO_3^-) yang diperoleh dibandingkan dengan petak jagung monokultur, tanpa tanaman pagar (sebagai kontrol) tetapi jagung dipupuk N sebanyak 90 kg ha⁻¹. Tanaman semusim yang ditanam di antara baris tanaman pagar adalah jagung (musim tanam I) dan diikuti oleh kacang tanah (musim tanam II). Tinggi rendahnya konsentrasi N-mineral yang terukur menunjukkan efektifitas akar pohon dalam menyerap N yang tercuci. Semakin rendah konsentrasi N mineral yang dijumpai berarti semakin efektif akar tanaman pohon dalam menyerap N yang tercuci.

Hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 5.5. Tidak ada perbedaan jumlah air drainasi pada semua petak. Namun bila ditinjau dari konsentrasi N –mineral (NH_4^+ dan NO_3^-) baik pada kedalaman 0.8 m maupun > 0.8 m, ternyata konsentrasi tertinggi dijumpai pada petak kontrol. Konsentrasi terendah dijumpai pada petak petaian. Sedang konsentrasi N-mineral pada petak gamal, campuran petaian/gamal berada di antaranya.

Studi kasus 5.1 (lanjutan)



Gambar 5.5 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 (o) = 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).

Contoh kasus 5.2

Manfaat liang akar pohon yang telah mati bagi tanaman semusim

Pada tanah masam liang bekas akar mati berguna untuk pertumbuhan akar tanaman lainnya karena lebih rendahnya tingkat keracunan Al 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. Contoh hasil pengukuran pH tanah pada berbagai kedalaman pada profil tanah yang dibuat pada petak budidaya pagar di ultisol, Onne, Nigeria (Tabel 5.1). Sebagai pembanding dua kolom terakhir menunjukkan pH di dalam liang akar pada lapisan tanah bawah dibandingkan dengan pH tanah di sekitarnya di luar liang (Hairiah dan van Noordwijk, 1986).

Tabel 5.1 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 dari pada tanah disekelilingnya atau tanah dalam profil tanah. Namun mengapa akar ubi kayu masih lebih suka tumbuh pada liang akar pohon tersebut (lihat Gambar 5.6.). Ada 3 kemungkinan yang menyebabkan akar ubikayu suka tumbuh pada liang akar pohon: (a) keracunan Al rendah, (b) lebih kaya akan hara (c) struktur tanah lebih remah.

Gambar 5.6

Pemandangan di dalam tanah tentang 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)

5.4 Analisis dan sintesis sistem agroforestri:

Pohon dapat berpengaruh positif maupun negatif terhadap tanaman lainnya, dan kedua pengaruh tersebut terjadi bersamaan di lapangan yang sangat sulit dipisahkan. Oleh karena itu informasi kuantitatif interaksi pohon dan tanaman semusim dalam sistem tumpangsari sangat terbatas. Berikut adalah contoh studi kasus percobaan lapang di Pakuan Ratu, Lampung (Contoh Kasus 5.3).

Contoh kasus 5.3
Interaksi pohon dan tanaman semusim pada sistem budidaya pagar
(hedgerow intercropping system)

Berikut ini adalah contoh bagaimana mengevaluasi interaksi pohon dan tanaman pangan secara kuantitatif pada sistem budidaya pagar yang telah berumur 7 tahun di Pakuan Ratu. Tanaman jagung dipakai sebagai tanaman indikator, yang ditanam pada lorong-lorong di antara tanaman pagar.

Tujuan percobaan

- Mengukur pengaruh tanaman pagar terhadap pengurangan cahaya yang masuk ke dalam petak,
- Mengukur kompetisi akar dalam menyerap air dan hara.
- Mengukur pengaruh residu dari pohon terhadap kesuburan tanah

Penyusunan percobaan budidaya pagar:

Pada petak utama terdapat enam spesies tanaman pagar yang ditanam pada tahun 1986, yaitu: (a) Petaian (*Peltophorum dasyrrachys*), (b) Gamal (*Gliricidia sepium*), (c) Selang-seling antar baris petaian dan gamal, (d) Kaliandra (*Calliandra calothyrsus*), (e) lamtoro (*Leucaena leucocephala*), dan (f) *Flemingia congesta*. Satu petak lain sebagai kontrol adalah lahan **tidak ditanami** tanaman pagar. Masing-masing petak dibagi menjadi 4 anak petak untuk menguji respon tanaman terhadap 4 dosis pemupukan N: **0 kg ha⁻¹ ; 45 kg ha⁻¹ ; 90 kg ha⁻¹ dan 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, dapat dipisahkan pengaruh positif dan negatif pohon terhadap tanaman pangan melalui analisis hasil sebagai berikut:

Variabel	Perlakuan
1. Naungan	<ul style="list-style-type: none"> • Dengan pemangkasan tajuk • Tanpa pemangkasan tajuk
2. Kompetisi akan air dan hara	<ul style="list-style-type: none"> • Dengan penyekat akar • Tanpa penyekat akar
3. Mulsa	<ul style="list-style-type: none"> • Dengan penambahan biomas sebagai mulsa • Tanpa penambahan biomas
4. Pengaruh residu tanam (pengaruh jangka panjang)	<ul style="list-style-type: none"> • Dengan penebangan pohon/tanaman pagar • Tanpa penebangan pohon/tanaman pagar
TOTAL PLOT	<ul style="list-style-type: none"> • Ada 8 sub plot per species pohon

Contoh kasus 5.3 (lanjutan)

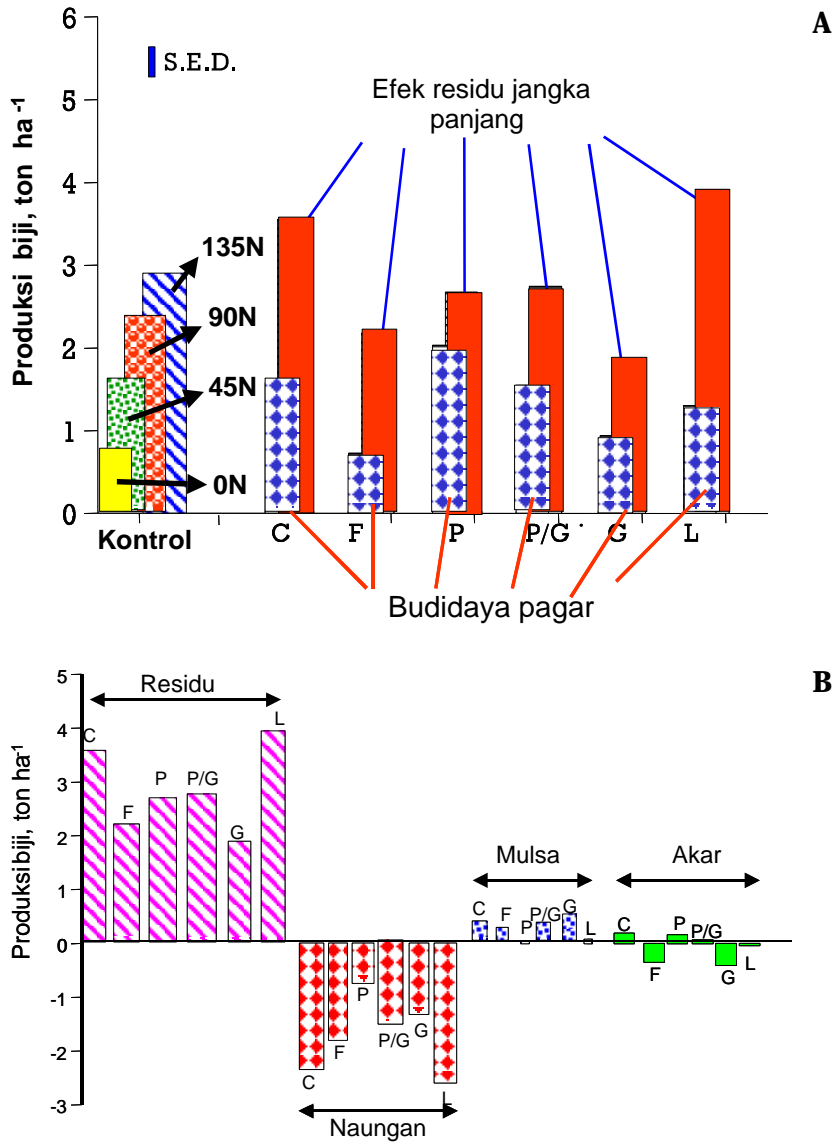
Hasil dari percobaan ini menunjukkan bahwa petaian secara konsisten memberikan pengaruh yang menguntungkan terhadap produksi tanaman semusim (jagung) selama 2 musim tanam. Setelah penebangan tanaman pagar (umur 8 tahun) dan semua hasil tebang diangkut keluar petak, ternyata tanaman jagung yang ditanam pada lahan tersebut menunjukkan respon yang sangat nyata terhadap 'pengaruh residu' yang ditinggalkan oleh pohon. Pengaruh residu 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 5.7.A*). Berdasarkan data produksi rata-rata selama dua musim tanam, dapat dilihat bahwa produksi yang diperoleh pada petak Kaliandra dan Lamtoro lebih tinggi bila dibandingkan dengan produksi yang diperoleh dari petak kontrol dengan pemupukan N sebanyak 135 kg ha⁻¹. Hal ini dapat diartikan sebagai besarnya peranan bahan organik dari ke dua tanaman pagar tersebut terhadap perbaikan kesuburan tanah (F) melalui perbaikan status bahan organik tanah terutama yang berasal dari akar. Namun demikian untuk kondisi 'normal' (pohon tidak ditebang, jadi masukan bahan organik berasal dari pangkasan dan serasah serta dari akar), hanya petaian yang mampu memberikan produksi jagung lebih tinggi dari pada kontrol. Perbedaan terbesar dikarenakan adanya pengaruh naungan, karena pengaruh pemberian mulsa dan pemberian penyekat akar (interaksi bawah tanah) relatif kecil (*Gambar 5.7.B*).

Pada musim tanam ke dua (bulan Februari – Mei) di mana kondisinya lebih kering daripada tahun-tahun sebelumnya, produksi tanaman rendah pada semua perlakuan. 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 ton ha⁻¹ (normal) dengan pemberian 18 ton 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 5.2. 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 *Petaian* memberikan neraca yang positif, pengaruh positifnya lebih besar dari pada pengaruh negatifnya. Spesies ini memiliki daya kompetisi lebih rendah dari pada 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.

Tabel 5.2 Analisis interaksi pohon dan tanaman pangan berdasarkan pengaruhnya terhadap kesuburan tanah (F) dan kompetisi (C) terhadap produksi jagung.

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



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

Gambar 5.7 Pengaruh jangka panjang (residu tanaman) terhadap produksi biji jagung berdasarkan data rata-rata dua musim tanam (A), 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) (van Noordwijk dan Hairiah, 2000).

5.5 Bagaimana petani memulai sistem agroforestri?

Penyediaan lahan untuk pertanian kebanyakan dilakukan dengan cara menebang dan membakar pepohonan atau alang-alang (sistem tebang-bakar). Pembakaran vegetasi mengakibatkan hampir semua cadangan C dan N hilang, tetapi petani masih tetap memilih cara ini karena mudah dan murah. Selain itu cara ini dapat menambah pupuk secara cuma-cuma dari hasil pembakaran biomas, dapat meningkatkan pH, P-tersedia dan kation basa dalam jumlah besar (Tabel 5.3).

Tabel 5.3 Komposisi kimia tanah hutan sebelum dan sesudah pembakaran di daerah Pakuan Ratu (Hairiah *et al.*, 1996).

	pH		C-org %	P-Olsen mg kg ⁻¹	Abu* %	K	Ca	Mg	N-total %
	H ₂ O	KCl							
Sebelum terbakar									
0 - 5 cm	6.2	4.7	2.44	5.0		0.20	1.44	0.62	0.14
5 - 10 cm	5.6	4.6	2.12	2.0		0.20	1.85	0.52	0.14
Setelah terbakar									
0-3 cm	8.1	7.5	7.55	51.4	75	5.37	25.5	4.47	0.13
3-5 cm	8.3	7.2	4.28	25.6	80	2.02	14.8	3.46	
5-10 cm	7.2	6.0	1.94	6.7		0.29	3.12	0.63	
Dalam abu				384		176	23.6	17.6	

*Abu per berat kering tanah

Setelah pembakaran, tanah menjadi lebih subur dan bebas gulma, hama dan penyakit, sehingga biasanya langsung ditanami tanaman pangan (misalnya ubikayu, jagung atau padi). Setelah beberapa tahun, produksi semakin rendah karena tanah semakin tidak subur (lihat Contoh Kasus 5.4). Pada masa lalu petani bisa segera mencari dan membuka lahan baru (ladang berpindah) dan melanjutkan usaha pertaniannya. Hal demikian tidak bisa terjadi lagi sekarang; mereka harus bertahan untuk mengusahakan lahan yang produktivitasnya sudah sangat merosot.

Salah satu upaya mempertahankan usahatani yang berkelanjutan pada kondisi demikian adalah dengan menanam pepohonan di antara tanaman semusim (pangan). Ada petani yang berhasil dengan cara ini, sehingga mendorong petani lain untuk mengikutinya. Beberapa alasan yang dikemukakan sebagai faktor yang menyebabkan petani berminat menanam pepohonan, antara lain adalah:

- Pepohonan yang masih kecil tidak mengganggu tanaman semusim dan perawatan terhadap tanaman pangan dapat memberikan keuntungan bagi pepohonan. Misalnya: pemupukan dan penyiangan untuk tanaman semusim memberi manfaat kepada pepohonan.
- Bila pepohonan sudah besar dan memberi naungan, petani masih dapat menanam tanaman semusim yang tahan naungan seperti talas, kunyit

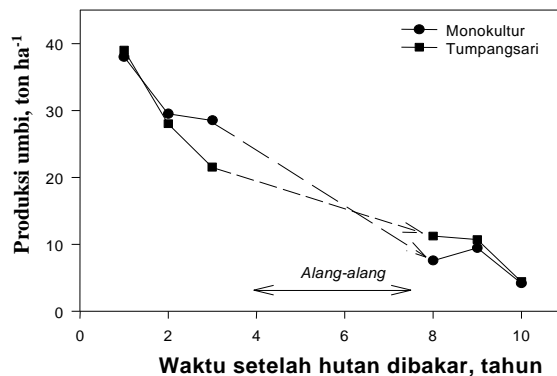
dan tanaman obat-obatan lainnya untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari.

- Menanam pepohonan yang bernilai ekonomi tinggi misalnya buah-buahan atau kayu untuk bangunan yang berarti menabung untuk masa depan, karena produksinya baru dipetik beberapa tahun lagi.
- Menanam pohon tidak memerlukan banyak perawatan, sehingga petani tidak perlu mengeluarkan tenaga dan biaya perawatan.

Contoh kasus 5.4 Ubikayu menurunkan kesuburan tanah

Hasil percobaan di Pakuan Ratu, membuktikan bahwa penanaman ubi kayu secara monokultur maupun tumpangsari dengan jagung dan padi selama beberapa tahun terus-menerus menyebabkan penurunan produksi umbi segar (*Gambar 5.8*). Pada musim pertama setelah pembukaan hutan, produksi umbi mencapai 40 ton ha⁻¹, dan pada tahun ketiga turun menjadi 30 ton ha⁻¹ (*monokultur*) dan 20 ton ha⁻¹ (*tumpangsari*). Setelah lahan diberakan dan ditumbuhi alang-alang selama 4-5 tahun, kemudian dibuka kembali dan ditanami ubi kayu pada tahun ke delapan, ternyata produksi umbi yang diperoleh bahkan lebih rendah dibandingkan dengan produksi yang diperoleh pada tahun ke tiga. Hal sebaliknya justru terjadi, sistem tumpangsari memberikan produksi umbi lebih tinggi dari pada sistem monokultur. Rendahnya produksi pada sistem monokultur mungkin disebabkan oleh adanya gangguan alang-alang yang tumbuh kembali. Kondisi di bawah ubi kayu monokultur lebih terbuka dari pada sistem tumpangsari, sehingga sinar matahari yang masuk masih lebih banyak. Kondisi ini sangat ideal bagi akar rimpang alang-alang untuk tumbuh kembali.

Pemberaan lahan selama 4-5 tahun sebagai padang alang-alang nampaknya tidak dapat memperbaiki kesuburan kimia tanah. Alang-alang memberikan masukan bahan organik dari tajuknya hanya sekitar 3-4 ton ha⁻¹, dan kontribusi haranya juga rendah.



Gambar 5.8 Produksi umbi dari ubi kayu pada berbagai waktu pengamatan setelah pembakaran hutan di Pakuan Ratu, Lampung (Hairiah *et al*, 2000).

Namun tidak semua petani tertarik dan mau menanam pepohonan di lahannya. Pada umumnya alasan yang dikemukakan adalah:

- Pepohonan baru berproduksi setelah beberapa tahun, sementara kebutuhan bahan pangan harus disediakan setiap hari.
- Bibit pepohonan yang dikehendaki seringkali sulit didapat dan bila ada harganya mahal.
- Petani sulit memperoleh informasi tentang budidaya pepohonan.
- Status lahan garapan yang belum jelas menyebabkan petani tidak mau menanggung risiko kerugian dengan menanam pepohonan jika kemudian harus pindah.

Selain alasan-alasan yang disebutkan di atas, sebenarnya masih ada alasan lain yang sifatnya khusus beragam di antara petani.

5.6 Mengapa produksi tanaman semusim menurun?

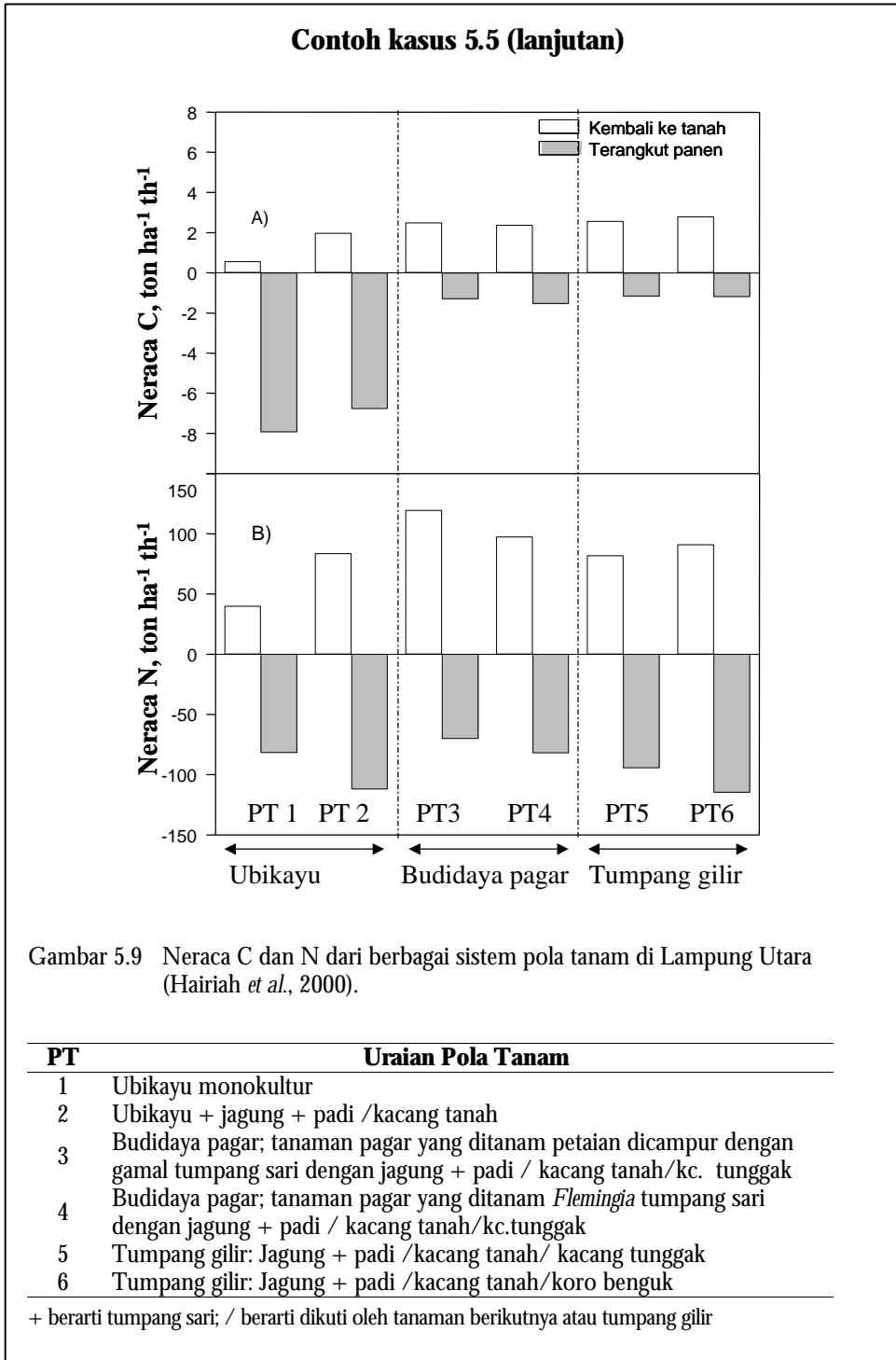
Salah satu penyebab turunnya produksi tanaman semusim adalah penurunan kesuburan tanah. Hal ini terjadi karena adanya pengangkutan hara keluar dari petak yang terjadi terus-menerus dalam jumlah besar melalui panen, pencucian dan erosi. Sementara itu jumlah hara yang kembali ke dalam tanah melalui daun yang gugur dan pengembalian sisa panen lebih sedikit dibanding hara yang diangkut ke luar, sehingga setiap tahun terjadi defisit hara. Akibatnya, tanaman pada musim berikutnya akan mengalami kahat hara, sehingga perlu diberi pupuk. Petani sering mengakui bahwa karena kekurangan modal untuk beli pupuk mengakibatkan produksi tanaman selalu menurun. Hal ini membuktikan bahwa jumlah hara tersedia dalam tanah lebih sedikit dibanding jumlah yang dibutuhkan tanaman (Contoh kasus 5.5).

Contoh kasus 5.5 **Neraca C pada berbagai pola tanam**

Pengukuran neraca karbon (C) dilakukan pada beberapa macam pola tanam di Pakuan Ratu, yaitu pola berbasis ubikayu, budidaya pagar dan tumpang gilir tanaman leguminosa (kacang-kacangan). Hasilnya menunjukkan bahwa pola tanam berbasis ubi kayu memberikan neraca C negatif (artinya jumlah C yang terangkut keluar > jumlah C yang kembali ke tanah), dengan jumlah yang terangkut sekitar 7 ton ha⁻¹ th⁻¹ terutama terangkut sebagai umbi dan batang (Gambar 5.9.A.). Pola tanam budidaya pagar memberikan neraca C positif, di mana jumlah keluaran C yang terangkut panen sekitar 1.5 ton ha⁻¹ th⁻¹, dan masukan C sekitar 2.5 ton ha⁻¹ th⁻¹ sebagai biomas hasil pangkasan. Pola tanam tumpang gilir dengan tanaman kacang-kacangan penutup tanah menghasilkan kelebihan (surplus) masukan C ke dalam tanah sekitar 1.5 ton ha⁻¹ th⁻¹.

Sedang pada neraca N, pola tanam berbasis ubikayu (Gambar 5.9B: PT 1 dan 2) menghasilkan neraca negatif. Pola tanam budidaya pagar (PT 3 dan 4) dan kacang-kacangan (PT 5) menghasilkan neraca positif. Pola tanam budidaya pagar (PT 6) memberikan neraca netral karena adanya pengangkutan N melalui biji kacang tunggak. Pada sistem budidaya pagar terjadi surplus N sekitar 15-50 kg ha⁻¹; dan untuk sistem rotasi sekitar 10-20 kg ha⁻¹.

Untuk pola tanam berbasis ubikayu memberikan neraca N minus sekitar 60 kg ha⁻¹ (Gambar 5.9.B). Hasil perhitungan ini belum memperhitungkan adanya kehilangan N melalui pencucian, erosi atau penguapan maupun besarnya masukan N dari hasil penambatan N dari udara oleh tanaman kacang-kacangan. Perhitungan neraca C dan N ini dapat dipakai untuk menjelaskan mengapa selalu terjadi penurunan produksi ubikayu setelah hutan dikonversi menjadi lahan pertanian. Dengan sistem budi daya pagar, produksi jagung dapat meningkat sekitar 1.5 ton ha⁻¹ (van Noordwijk *et al.*, 1995). Mengingat produksi tanaman yang diperoleh per satuan tenaga kerja masih lebih rendah bila dibandingkan dengan produksi dari pembukaan lahan baru, maka petani akan memilih membuka lahan baru dan meninggalkan lahan yang lama. Lahan pertanian yang telah terlantar tersebut akhirnya ditumbuhi gulma alang-alang (*Imperata cylindrica*).



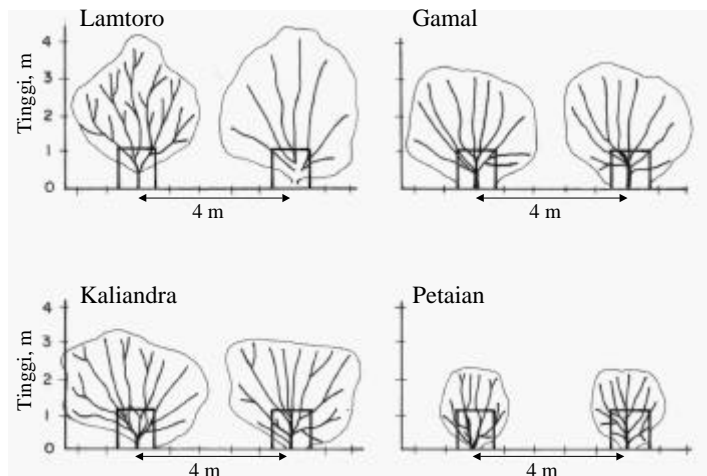
5.7 Dasar-dasar pertimbangan memilih jenis pohon

Telah diuraikan bahwa pepohonan bisa memberi dampak positif dan/atau negatif terhadap tanaman semusim yang ditanam secara tumpangsari. Demikian pula setiap jenis pohon tidak mungkin memberikan semua keuntungan yang sudah dikemukakan. Oleh karena itu sebelum memilih dan menanam pepohonan harus diketahui dengan jelas apa maksud dan tujuannya. Sesudah itu perlu memperhatikan beberapa kriteria dari pepohonan seperti berikut:

a) Bentuk dan sebaran tajuk pohon

Pepohonan umumnya tumbuh lebih tinggi dan luasan tajuknya jauh lebih besar daripada tanaman semusim, sehingga dapat menaungi tanaman semusim di dekatnya. Penaungan ini menyebabkan jumlah cahaya matahari yang dapat ditangkap tanaman menjadi berkurang, padahal tanaman membutuhkan cahaya matahari untuk proses fotosintesa. Bentuk dan sebaran tajuk pohon menentukan tingkat penaungan dan besarnya cahaya matahari diterima tanaman semusim.

Pohon yang tumbuh tidak terlalu tinggi dengan sebaran tajuk yang rapat tetapi tidak terlalu melebar, cocok digunakan sebagai tanaman pagar dalam sistem tumpangsari. Sebagai contoh, petaian memiliki sebaran tajuk yang tidak terlalu melebar (Gambar 5.10.) tetapi mampu memberikan produksi pangkasan sekitar 8 ton ha⁻¹, tidak terlalu banyak memberikan naungan terhadap tanaman yang ditanam disekitarnya. Tanaman pagar yang lain seperti lamtoro, gamal dan kaliandra memberikan hasil pangkasan yang hampir sama, tetapi bentuk kanopinya terlalu melebar. Jenis pepohonan ini kurang cocok untuk tanaman pagar karena perlu lebih banyak tenaga kerja untuk melakukan pemangkasan cabang dan ranting yang lebih sering.



Gambar 5.10 Sebaran tajuk beberapa tanaman pagar dalam sistem budi daya pagar di Pakuan Ratu, Lampung (Hairiah *et al.*, 1992).

b) Produksi seresah

Pepohonan dapat memberikan masukan bahan organik melalui pangkasan biomassa berupa daun, cabang dan ranting. Apabila tidak ada pemangkasan maka masukan bahan organik dapat terjadi melalui daun, cabang dan ranting yang gugur. Jumlah masukan bervariasi tergantung dari jenis tanaman dan musim. Pada musim kemarau beberapa tanaman cenderung lebih banyak menggugurkan daunnya dari pada musim penghujan. Produksi rata-rata pangkasan beberapa jenis pepohonan per tahunnya sekitar 8 - 10 ton ha⁻¹.

Contoh kasus 5.6 Hasil penelitian: produksi bahan organik

Masukan bahan organik yang berasal dari daun, ranting dan cabang yang gugur di Pakuan Ratu, Lampung:

- Petaian monokultur berumur 10 tahun menghasilkan masukan sekitar 12 ton ha⁻¹ tahun⁻¹.
- Gamal monokultur juga berumur 10 tahun memberikan masukan sekitar 5 ton ha⁻¹ tahun⁻¹.
- Hutan sekunder memberikan masukan sekitar 8-9 ton ha⁻¹ tahun⁻¹.

c) Sinkronisasi antara ketersediaan hara dan kebutuhan tanaman

Seresah yang dihasilkan pepohonan memiliki kualitas yang berbeda-beda yang pada akhirnya menentukan kecepatan pelapukan dan mineralisasi. Kualitas bahan yang dihasilkan harus sesuai dengan kecepatan tumbuh dan kebutuhan hara tanaman semusim supaya terjadi sinkronisasi (lihat Bab 4). Oleh karena itu dibutuhkan informasi tentang variabel yang menentukan kualitas bahan organik, supaya dapat membantu pemilihan jenis pohon yang disesuaikan dengan kebutuhan tanaman semusim.

Pada umumnya petani sudah cukup berpengalaman dalam mengenali kecepatan dekomposisi dari beberapa jenis seresah yang dijumpai di lahannya. Berikut adalah beberapa ciri seresah yang cepat lapuk yang dikenali oleh petani di daerah Lampung.

Variabel	Cepat Lapuk	Lambat Lapuk
Ketebalan daun	tipis bertulang daun halus	tebal, bertulang daun besar dan kaku
Permukaan daun	halus	mengkilap berkilin atau bisa juga berbulu
Kelenturan daun	tidak mudah patah (lentur)	mudah patah

Menurut pengamatan petani bahwa seresah daun jati yang kaku dan memiliki permukaan kasar dapat bertahan lama di lahan karena daun ini sangat lambat dilapuk (*Gambar 5.11*). Selama musim kemarau pohon jati merontokkan

daunnya untuk mengurangi transpirasi karena ketersediaan air tanah yang terbatas. Lahan menjadi lebih terbuka sehingga seresah jati menjadi semakin kering. Daun jati kering yang menutup permukaan tanah dapat cukup lama berperan sebagai mulsa sehingga dapat mempertahankan kelembaban tanah. Namun daun jati kering ini mudah sekali terbakar selama musim kemarau, sehingga sering merugikan petani di sekelilingnya.



Gambar 5.11 Seresah daun jati dan alang-alang lambat dilapuk, tinggal cukup lama di permukaan tanah sehingga rawan terhadap kebakaran di musim kemarau (Foto: Kurniatun Hairiah)

d) Kedalaman perakaran

Pohon yang berakar dalam berperan sebagai jaring penyelamat hara yang baik dan memiliki ketahanan terhadap kekeringan. Tanaman yang akarnya tersebar intensif dan dalam akan lebih tahan terhadap kekeringan dibandingkan dengan yang berperakaran dangkal. Tanaman ini juga toleran terhadap Al. Distribusi kedalaman perakaran yang dibutuhkan telah dibicarakan pada Bab 4 dan contoh hasil estimasi model WaNuLCAS akan dibicarakan pada Bab 6. Contoh hasil pengamatan distribusi perakaran tanaman legum dan pohon buah-buahan dapat dilihat pada Lampiran 5.1 dan 5.2.

e) Penambatan N dari udara

Kemampuan tanaman untuk menambat N dari udara bebas diharapkan dapat menambah ketersediaan N dalam tanah. Tanaman yang mempunyai kemampuan ini adalah dari jenis leguminosa (kacang-kacangan), walaupun tidak

semua legume dapat menguntungkan. Strategi pemilihan tanaman legume untuk perbaikan cadangan N dalam tanah telah dibicarakan cukup mendalam pada Bab 4.

Contoh kasus 5.7 **Hasil penelitian: komposisi bahan organik**

Hasil pengukuran kandungan lignin, polifenolik dan total kation (Ca+Mg+K) pada beberapa jenis tanaman pepohonan di Pakuan Ratu, Lampung disajikan pada Tabel 5.4. Bahan organik asal pangkasan gamal (*Gliricidia*) merupakan bahan yang paling cepat melepaskan unsur hara bila dibandingkan dengan seresah asal daun jambu karena kandungan ligninnya lebih rendah. Seresah gamal akan cepat habis terdekomposisi dalam waktu 4 minggu (Handayanto, 1997). Petaian memiliki kualitas lebih rendah dibanding gamal, bukan ditentukan oleh kandungan ligninnya, melainkan karena kandungan polifenoliknya yang lebih tinggi. Dalam waktu 4 minggu petaian baru melepaskan sekitar sepertiga dari N yang dikandungnya.

Tabel 5.4 Konsentrasi total kation, nisbah C/N, Lignin: N (Lg/N), Polyphenolic: N (Pp/N) dari biomas yang dipakai dalam percobaan inkubasi.

	Spesies	N %	C: N	L %	P %	Lg:N	Pp:N	(Lg+Pp) /N	Σ kation cmol kg ⁻¹
1	Kaliandra/ <i>Calliandra</i>	3.65	13.1	12	4.26	3.29	1.17	4.45	58.8
2	Petaian/ <i>Peltophorum</i>	2.47	13.6	19	4.76	7.69	1.93	9.62	58.4
3	Gamal/ <i>Gliricidia</i>	4.57	10.2	11	1.80	2.41	0.39	2.80	52.9
4	Lamtoro/ <i>Leucaena</i>	3.28	14.8	12	2.30	3.66	0.70	4.36	42.1
5	<i>Flemingia</i>	3.22	17.6	9	2.59	2.80	0.80	3.60	36
6	Jambu air/ <i>Syzigium</i>	2.81	8.7	32	0.32	11.4	0.11	11.5	88.9
7	Bulangan/ <i>Gmelina</i>	6.11	6.7	28	1.10	4.58	0.18	4.76	126.2
8	Sungkai/ <i>Perunema</i>	5.85	9.0	37	1.56	6.33	0.27	6.59	72.5
9	Krinyu/ <i>Chromolaena</i>	1.88	27.7	32	2.33	17	1.24	18.3	100
10	Alang-alang/ <i>Imperata</i>	0.78	74	11	0.65	14	0.83	14.9	19.45

Informasi hasil analisis beberapa jenis bahan ini dapat dipakai sebagai dasar menentukan kualitas bahan organik, sehingga dapat menaksir kecepatan mineralisasinya. Lebih jauh hal ini dapat dipakai untuk memilih jenis pepohonan yang memiliki sinkronisasi cukup tinggi dengan tanaman semusim yang ada.

f) Ketahanan terhadap pangkasan

Untuk mengurangi persaingan akan cahaya antara pohon dan tanaman semusim, perlu dilakukan pemangkasan daun dan ranting pohon tanaman pagar. Beberapa jenis pohon tetap tumbuh baik walaupun sering dipangkas, namun ada jenis-jenis pohon yang tidak tahan mengalami pemangkasan, ditandai dengan kemunduran pertumbuhan setelah dipangkas beberapa kali. Pohon yang mudah dan cepat tumbuh kembali setelah mengalami pemangkasan periodik sangat cocok untuk digunakan sebagai tanaman pagar. Berikut ini daftar ketahanan beberapa jenis pohon terhadap pangkasan:

Nama tanaman	Ketahanan terhadap pangkasan
Dadap (<i>Erythrin</i>)	rendah (~ 3 tahun)
Kaliandra (<i>Calliandra</i>)	sedang (~ 5-7 tahun)
Lamtoro (<i>Leucaena</i>)	sedang (~ 5-7 tahun)
Gamal (<i>Gliricidia</i>)	tahan (>7 tahun)
Petaian/soga (<i>Peltophorum Flemingia</i>)	tahan (>7 tahun)

g) Kemampuan mengendalikan gulma

Alang-alang merupakan gulma yang paling dominan pada lahan-lahan terbuka dan terlantar. Gulma ini mempunyai pengaruh yang merugikan terhadap tanaman pertanian, karena daya saingnya sangat kuat akan air, hara. Tumbuhan ini sangat tahan kekeringan, mudah beradaptasi dengan tanah miskin hara, masam, dan tahan terhadap Al yang meracun.

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 digunakan sebagai tanaman pagar dapat menekan pertumbuhan alang-alang. Hanya pepohonan yang cepat tumbuh dan memiliki tajuk yang rapat dan padat sangat potensial untuk mengendalikan alang-alang. Dua contoh jenis pohon yang dipergunakan untuk mereklamasi lahan alang-alang di Lampung yaitu petaian dan gamal dapat dilihat pada Gambar 5.12.

Contoh kasus 5.8 Naungan dan Alang-alang

Hasil percobaan dan survey (Purnomosidhi *et al.*, 2000) pada lahan petani di Pakuan Ratu, Lampung menunjukkan bahwa:

untuk membasmi alang-alang secara biologi diperlukan penaungan yang dapat mengurangi sinar matahari yang masuk minimal 80% dari jumlah total sinar pada tempat-tempat terbuka, dan waktu yang diperlukan minimal 2 bulan.

Tanaman penutup tanah kacang-kacangan (LCC) berumur pendek dan tumbuh cepat seperti *Mucuna pruriens* var. *utilis* (Bhs. Jawa koro-benguk) yang siklus hidupnya hanya sekitar 5 bulan, dengan kemampuan menutup permukaan tanah sekitar 80% pada saat tanaman telah berumur 4 bulan, mempunyai potensi menekan alang-alang. Koro benguk hanya mampu menekan populasi alang-alang tetapi tidak mampu membunuh akar rimpang alang-alang. Jalan keluarnya adalah mengkombinasikan dengan tanaman penutup tanah lain yang berumur lebih panjang misalnya kacang ruji (*Pueraria*), ki besin (*Centrosema*) dan pepohonan bernilai ekonomi tinggi yang pertumbuhannya cepat pula.

Bila sistem campuran ini telah terbentuk dan akar rimpang alang-alang telah mati, maka tanaman pangan dapat ditanam disela-sela pepohonan. Dan bila sebaran tajuk pepohonan telah rapat dan cahaya yang masuk terlalu sedikit maka lahan dapat dibiarkan menjadi sistem agroforestri. Pada kondisi ini merupakan titik awal dimulainya sistem agroforestri pada lahan bekas alang-alang.



Gambar 5.12
Petaian (atas) dan gamal (bawah) ditanam berbaris untuk memberantas alang-alang melalui efek naungan. Tajuk gamal meyebar ke samping tetapi tidak cukup rimbun sehingga masih banyak matahari yang masuk, maka populasi alang-alang masih tinggi. (Foto: Meine van Noordwijk)

h) Manfaat tambahan

Salah satu alasan keberatan petani menerapkan tumpangsari tanaman semusim dengan pohon adalah berkurangnya lahan untuk tanaman semusim, karena digunakan untuk menanam pohon sehingga pendapatan jangka pendek menjadi berkurang. Oleh karena itu, untuk mengganti 'kerugian' tersebut, pohon yang dipilih sebaiknya yang memberikan manfaat ganda bagi petani: menjamin lingkungan tumbuh yang baik dan dapat memberikan produksi yang dapat dimanfaatkan segera seperti buah, sayur, getah, pakan ternak, kayu bakar, dan sebagainya.

5.8 Mengelola pohon

Prinsip dasar fisiologi tanaman: Hubungan fungsi antara akar dan tajuk

Sebaran akar tanaman ditentukan oleh sifat genetik, lingkungan tanah, dan pengelolaan tanaman. Usaha pengelolaan pohon yang akan mempengaruhi jumlah dan distribusi perakaran antara lain adalah pengaturan kepadatan populasi pohon dan pemangkasan tajuk. Perubahan pertumbuhan pohon di bagian tajuk akan diikuti oleh perubahan pertumbuhan akar.

Menurut konsep dasar fisiologi yang lama, pertumbuhan akar dan fungsinya bagi produksi tanaman adalah didasarkan atas '**keseimbangan morfogenetik**' antara akar dan tajuk tanaman. Dengan kata lain bahwa '**lebih banyak akar, mengakibatkan pertumbuhan tajuk menjadi lebih baik**', atau tinggi pohon dan luas sebaran tajuknya akan menentukan kedalaman dan luas sebaran perakaran pohon tersebut. Oleh karena itu sebagai dasar pedoman pemberian pupuk kepada pohon atau tanaman biasanya dengan memperhatikan lebar sebaran tajuknya.

Berdasarkan hasil penelitian fisiologi tanaman yang telah dilakukan seabad yang lalu membuktikan bahwa anggapan tersebut tidak sepenuhnya benar. Oleh sebab itu konsep dasar hubungan antara akar dan tajuk tanaman tidak dapat diterima lagi dan berubah menjadi '**keseimbangan fungsi**'. Konsep baru ini lebih menekankan pada **fungsi perakaran** dalam menyerap air dan hara oleh sistem perakaran daripada **ukuran** distribusi sistem perakaran tanaman tersebut.

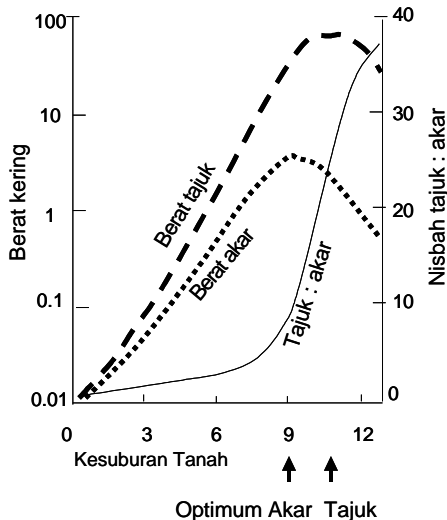
<p>Hubungan akar dan tajuk tanaman adalah hubungan KESEIMBANGAN FUNGSI Bukan KESEIMBANGAN MORFOLOGI</p>

Tajuk melalui proses fotosintesis menyediakan karbohidrat untuk akar dan akar menyerap air dan hara dari dalam tanah untuk memenuhi kebutuhan tajuk. Jumlah air dan hara yang diserap oleh akar ditentukan oleh banyak faktor antara lain kebutuhan tanaman, ketersediaannya dalam tanah, kontak antara akar dengan tanah dan luas permukaan akar. Tajuk dan akar sama-sama memiliki kurva pertumbuhan optimum namun pada kondisi yang berbeda. Untuk mencapai pertumbuhan optimum, tingkat kesuburan tanah yang dibutuhkan oleh akar relatif

lebih rendah dari pada kondisi yang dibutuhkan oleh tajuk. Gambar 5.13. memberikan gambaran secara skematis tentang respon tajuk dan akar tanaman terhadap ketersediaan air dan hara (Schuurman, 1983). Tanaman yang tumbuh pada tanah yang subur memiliki nisbah tajuk: akar yang lebih tinggi sebagai akibat tingginya produksi tajuk dari pada tanaman yang tumbuh pada tanah kurang subur atau tanah kering. Pernyataan ini memberikan gambaran seolah-olah lingkungan tanah yang menentukan pertumbuhan akar, tetapi sebenarnya yang menentukan adalah kebutuhan tanaman. Meningkatnya total luas permukaan daun, maka tanaman membutuhkan total luas permukaan akar yang lebih tinggi pula guna mencukupi kebutuhan air dan hara. Dengan demikian tanaman yang tumbuh pada tanah kering biasanya akan membentuk akar yang lebih banyak dari pada daerah basah, sehingga setiap peningkatan berat kering tajuk akan diikuti oleh peningkatan serapan air dan hara. Akibatnya nilai nisbah tajuk: akar akan terus meningkat dengan meningkatnya kesuburan tanah, dan sampai tingkat tertentu akar tidak akan mampu lagi memenuhi kebutuhan tajuk dan nilai nisbah tajuk: akar akan kembali menurun.

Selanjutnya respon tanaman terhadap lingkungan yang ditunjukkan oleh meningkatnya serapan air dan hara, dibedakan menjadi 2 macam (Goedewagen, 1937):

- '*respon morfologi*' yaitu pembentukan akar yang lebih banyak
- '*respon fungsi*' yaitu ekstra aktifitas serapan air dan hara per unit akar.



Gambar 5.13
Skematik respon akar dan tajuk terhadap berbagai kondisi kesuburan tanah (ketersediaan air dan hara) pada tanah-tanah pertanian (Schuurman, 1983).

Bila ditinjau dari sisi tanaman menunjukkan adanya pengaturan secara aktif oleh tanaman, dengan jalan mengatur keseimbangan nisbah tajuk: akar setelah mengalami hambatan lingkungan. Pengaturan itu dapat berupa pengurangan atau penambahan organ tanaman (Brouwer, 1963; 1983). Pengelolaan pohon misalnya pemangkasan tajuk atau akar, teknik persiapan bibit atau teknik penanamannya di lapangan juga akan mempengaruhi distribusi perakaran yang pada akhirnya

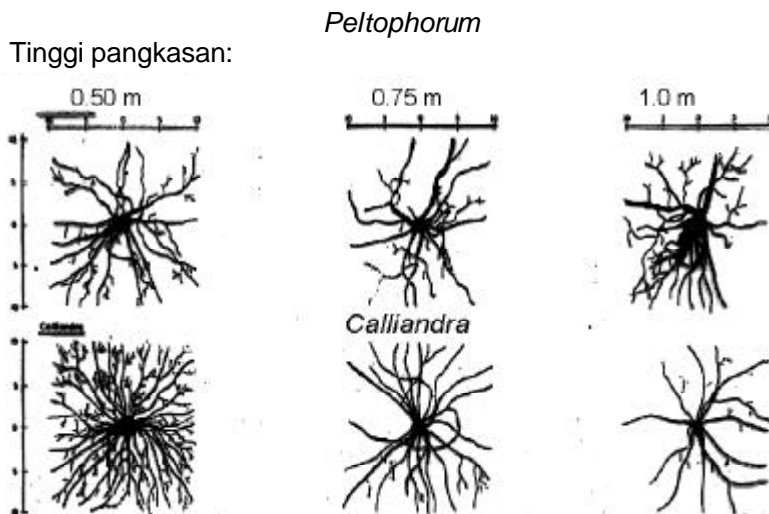
mempengaruhi pertumbuhan tajuk (Contoh Kasus 5.5 dan 5.9). Ada dua pertanyaan yang umumnya timbul sehubungan dengan pengelolaan pohon yaitu:

- Kapan dan pada ketinggian berapa pemangkasan pohon dilakukan?
- Teknik menanam pohon yang tepat untuk mendapatkan perkembangan akar yang dalam.

Contoh kasus 5.9

Kapan dan pada ketinggian berapa pemangkasan pohon dilakukan?

Percobaan lapangan dilakukan pada 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 5.14 dan 5.15). Hasil yang sama akan diperoleh pula bila tajuk sering dipangkas.



Gambar 5.14 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)

Contoh kasus 5.9 (lanjutan)

Adanya pemangkasan tajuk tanaman menyebabkan berkurangnya aktivitas akar, bila tajuk tanaman telah tumbuh kembali akan diikuti pula oleh pertumbuhan akar-akar baru.



Gambar 5.15 Foto akar petaian (*Peltophorum*) yang dipangkas setinggi 50 cm (pohon sebelah kiri); dan 75 cm (pohon sebelah kanan) (Foto: Kurniatun Hairiah).

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. Informasi lebih lanjut dari percobaan ini bahwa pemangkasan pertama sebaiknya dilakukan bila tanaman telah cukup dewasa (sekitar 2 tahun) dimana akar tanaman telah tumbuh cukup dalam.

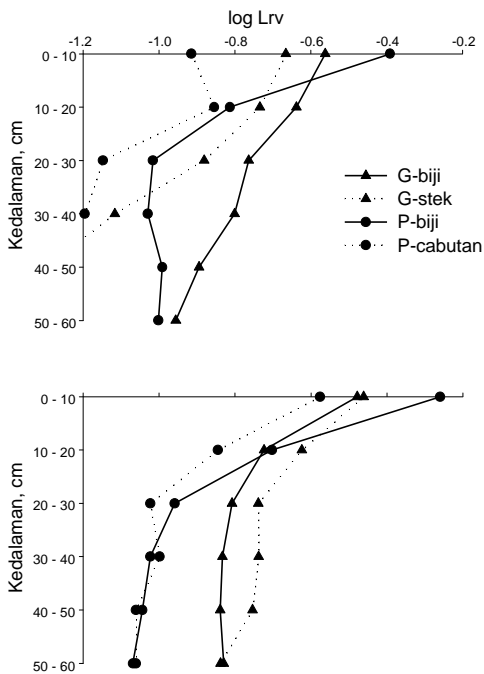
Pelajaran berguna yang bisa diambil adalah:

- Tinggi pangkasan dilakukan pada ketinggian minimal 0.75 m.
- Pemangkasan pertama sebaiknya dilakukan bila pohon telah berumur minimal 2 tahun.

Contoh kasus 5.10

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 cabutan atau stek (Gambar 5.16). Namun pada periode pengamatan berikutnya secara bertahap perbedaan itu mengecil. Dan 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 5.16 bawah).

Gambar 5.16
Total panjang akar (Lrv) petaian dan gamal pada berbagai kedalaman tanah dengan perlakuan teknik penanaman pada periode pertama (atas) dan periode ke-3 (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.

Saran pengelolaan pohon

- a. Naungan dikurangi dengan jalan pemangkasan cabang pohon selama musim tanam, tetapi dibiarkan tumbuh pada musim kemarau untuk menekan pertumbuhan gulma (misalnya alang-alang).
- b. Pemangkasan pertama bisa dilakukan bila pohon telah berumur minimal 2 tahun.
- c. 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.
- d. Frekuensi pemangkasan tidak lebih dari 3x dalam setahun. Pemangkasan tajuk yang terlalu sering mendorong terbentuknya akar halus pada lapisan atas.
- e. 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 Simulasi model WaNuLCAS: model penggunaan Air, Hara dan Cahaya pada Sistem Agroforestri

6.1 Latar belakang

Pada tahap awal perkembangan penelitian agroforestri lebih banyak ditujukan pada usaha mencari dan menguji teknologi. Walaupun telah banyak dana dan tenaga yang dikeluarkan oleh berbagai institusi dalam rangka penelitian dan penyuluhan agroforestri, namun hasilnya masih jauh dari harapan. Apa yang diperoleh belum bisa memberikan gambaran perpaduan pohon dan tanaman semusim yang tepat untuk berbagai kondisi tempat yang spesifik (Ong dan Huxley, 1996). Oleh karena itu peneliti agroforestri mulai menekankan pada pengkajian proses-proses interaksi yang terjadi antara tanaman pangan dan pepohonan. Di lain pihak, beberapa praktisi agroforestri berpendapat bahwa pengkajian proses-proses dalam sistem agroforestri membutuhkan biaya yang banyak dan waktu yang lama. Sedangkan hasilnya seringkali tidak relevan dengan pilihan dan penerapan pengelolaan karena keragaman kondisi lapangan. Untuk menjembatani peneliti dengan para praktisi agroforestri dalam merumuskan diagnosa permasalahan perlu dilakukan tindakan yang efisien dan ekonomis. Salah satu upayanya adalah mengembangkan model agroforestri yang mampu memperhitungkan pengaruh kondisi lokasi yang beragam itu dan menghasilkan keluaran yang mendekati kenyataan. Bila hal ini bisa diperoleh maka pendekatan dengan simulasi model dapat menekan waktu dan biaya karena bisa mengurangi jumlah percobaan dan pengujian lapangan.

Pada saat ini telah dikembangkan model simulasi untuk agroforestri oleh ICRAF (*International Centre For Research in Agroforestry*), yang diberi nama **WaNuLCAS** (**Water, Nutrient, and Light Captured in Agroforestry Systems**). Dengan model WaNuLCAS 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.

6.2 Simulasi model sebagai alat bantu diagnosa

Praktek agroforestri bukan suatu hal yang sederhana, hanya berupa kegiatan bercocok tanam pohon pada lahan pertanian. Namun dalam penerapan agroforestri ternyata banyak hal harus dipertimbangkan, misalnya penetapan tujuan dan target, pemilihan komponen penyusun (macam tanaman dan pohon), pemilihan teknik pengelolaan, interaksi ekologi, dampak terhadap kesuburan tanah dalam jangka pendek dan panjang, kualitas dan kuantitas air yang mengalir ke daerah-daerah sekitarnya, dan

sebagainya. Tidak mungkin bagi kita melakukan percobaan yang rinci dan mendalam dengan mengukur semua parameter tersebut sehingga dapat menghasilkan suatu rekomendasi yang tepat. Sebaliknya, petani akan mampu mengambil keputusan sendiri bila memiliki pengetahuan yang luas dalam memilih teknik pengelolaan lahan termasuk mempertimbangkan segala konsekuensi dan untung-ruginya.

Sampai saat ini telah banyak yang meneliti hubungan dan interaksi antara tanaman semusim dan pepohonan serta proses-proses yang terjadi di dalam tanah serta interaksinya dengan iklim. Hasil-hasil yang diperoleh menjadi dasar pengetahuan penting dalam memahami proses-proses yang terjadi dalam agroforestri seperti yang telah diuraikan dalam Bab 4. Beberapa faktor tersebut saling **berinteraksi** sehingga sangat sulit untuk diukur dan digambarkan dalam sebuah diagram pada sehelai kertas hanya dengan merefleksikan pikiran melalui sebuah pensil.

Berikut ini disajikan sebuah contoh kejadian dalam agroforestri yang dapat dijadikan pokok penyusunan model: Pencucian N ke lapisan bawah tergantung kepada:

- a) “*sinkronisasi*” antara saat tanaman membutuhkan N dengan saat tersedia N,
- b) jumlah air hujan yang masuk ke dalam tanah (air infiltrasi), dan
- c) jumlah aliran permukaan pada tempat berlereng.

Semakin banyak jumlah air yang dipergunakan oleh tanaman semusim atau pepohonan, maka semakin banyak air hujan yang tersimpan dalam tanah sebelum terjadi aliran permukaan. Aliran permukaan tanah baru terjadi bila tanah telah jenuh. Oleh karena itu “*sinkronisasi*” yang baik sangat dipengaruhi oleh jumlah air hujan yang dapat digunakan oleh tanaman dan dalamnya perakaran.

Barangkali kita sudah memahami prinsip-prinsip dasar yang terlibat, tetapi untuk memperhitungkan dengan tepat apa yang bakal terjadi akibat perubahan faktor-faktor itu dibutuhkan alat bantu lain untuk menghubungkan semua faktor dan proses tersebut agar diperoleh suatu keluaran yang akurat. Untuk keperluan itu telah dikembangkan model untuk mendiskripsi berbagai proses dalam sistem agroforestri. Model yang dapat diterima harus cukup sederhana tetapi bisa memperhitungkan berbagai proses dan interaksi dengan cukup akurat, rinci dan mendalam, sehingga menghasilkan keluaran untuk menaksir konsekuensi dari berbagai tindakan yang telah diambil.

Simulasi model ini pertama-tama digunakan sebagai alat bantu diagnosa dalam merumuskan hipotesis: apa yang akan terjadi pada lokasi tertentu yang dicirikan oleh iklim dan tanah yang spesifik bila diterapkan suatu sistem agroforestri dengan ketentuan tertentu. Peniruan (simulasi) model pada lokasi dan kondisi tertentu merupakan pekerjaan yang cukup besar karena membutuhkan data yang cukup banyak dan akurat sebagai masukan agar diperoleh hasil penaksiran yang cukup baik.

6.3 Model simulasi WaNuLCAS

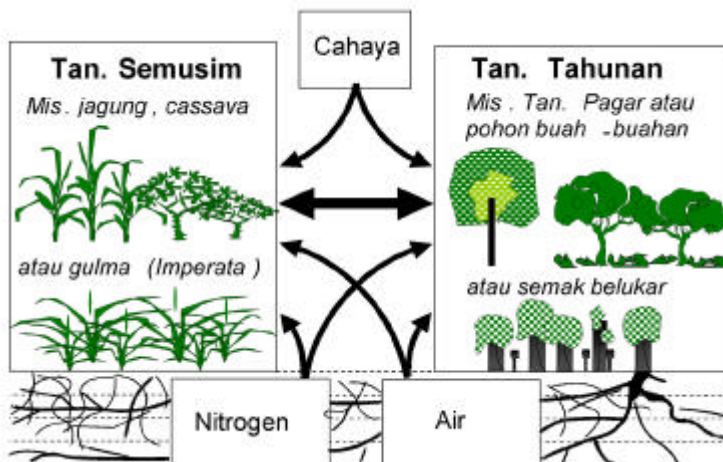
Baru-baru ini telah dikeluarkan sebuah model komputer untuk meniru sistem agroforestri yang dinamakan WaNuLCAS (van Noordwijk dan Lusiana, 1999). Model ini digunakan untuk mensintesis proses-proses penyerapan **air**, **hara** dan **cahaya** pada berbagai macam pola tanam dalam sistem agroforestri yang sangat dipengaruhi oleh

kesuburan tanah dan iklim. Model WaNuLCAS mempelajari interaksi yang terjadi antara pohon dan tanaman semusim, di mana sebagian besar telah dibahas dalam Bab 3.

Model ini ditulis dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) program **STELLA**[®]. Beberapa teori yang sudah diterima oleh para peneliti dan akademisi dimasukkan dalam model WaNuLCAS, di antaranya 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.

Mengingat sistem agroforestri cukup kompleks, dalam model simulasi ini juga diusahakan untuk mempertimbangkan berbagai macam proses lainnya seperti yang digambarkan pada diagram WaNuLCAS (*Gambar 6.1*). Diagram model WaNuLCAS ini disusun sedemikian sehingga bisa menggambarkan 3 komponen yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman yaitu air, hara dan cahaya yang sangat penting dalam sistem agroforestri.



Gambar 6.1 Diagram model WaNuLCAS yang tersusun atas 3 komponen yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman yaitu air, hara dan cahaya dalam sistem agroforestri.

Penjelasan lebih rinci tentang WaNuLCAS dan cara penggunaannya tahap demi tahap dapat dibaca pada buku pedoman dan petunjuk penggunaan¹⁾ model simulasi

¹⁾ 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. Atau silahkan kunjungi Web site: <http://www.icraf.cgiar.org/sea/Agromodels/Agromodels.htm>.

tersebut. Pada bab ini hanya disajikan beberapa contoh keluaran dari penggunaan model simulasi tersebut pada sistem budidaya pagar.

6.4 Keluaran model WaNuLCAS

Model WaNuLCAS dikembangkan terutama untuk mempelajari prinsip-prinsip dasar yang umum terjadi pada aneka sistem tumpangsari pepohonan dengan tanaman semusim atau sistem agroforestri. Model ini dapat juga digunakan pada sistem budidaya pagar atau budidaya lorong (*hedgerow intercropping* atau *alley cropping*) pada lahan datar atau pada budidaya pagar yang ditanam mengikuti garis kontur pada lahan berlereng (*strip cropping*), pada sistem pekarangan, serta pada sistem bera.

Keluaran yang diperoleh dari simulasi model WaNuLCAS ini antara lain berupa taksiran (*estimasi*) neraca dan serapan air, N dan P oleh tanaman semusim pada berbagai sistem pola tanam dalam agroforestri, misalnya tumpang gilir mulai dari sistem bera sampai pada sistem tumpangsari (sistem budidaya pagar) bahkan juga sistem agroforestri kompleks. Sedangkan tanaman semusim yang dimaksud meliputi tanaman pangan dan gulma. Model ini juga memasukkan beberapa tindakan pengelolaan praktis, misalnya:

- Teknik pengelolaan seperti pengaturan jarak tanam, pemangkasan, pemupukan dan pemilihan jenis tanaman yang tepat.
- Karakteristik pepohonan seperti distribusi perakaran, bentuk dan sebaran kanopi, kualitas seresah, tingkat pertumbuhan maksimum dan kecepatan untuk tumbuh kembali setelah dipangkas.

6.5 Contoh-contoh hasil simulasi WaNuLCAS

6.5.1 WaNuLCAS sebagai alat bantu diagnosa kesehatan tanah

Tanah merupakan media tumbuh tanaman yang sangat menentukan besarnya produksi pertanian. Pada lahan tadah hujan dengan reaksi tanah masam, petani sering menghadapi beberapa kendala dalam usaha taninya. Kendala ini dapat berupa kendala sosial ekonomi, misalnya: modal usaha, pemasaran hasil, lambatnya informasi tentang teknik usaha tani dan sebagainya, atau dapat berupa kendala biofisik, misalnya iklim dan kesuburan tanah. Untuk memahami kendala iklim dan kesuburan tanah tersebut, model WaNuLCAS dapat dipakai sebagai alat bantu untuk melakukan diagnosa. Simulasi model WaNuLCAS dapat membantu kita dalam memahami kendala kekurangan air, nitrogen (N) dan fosfat (P) dalam tanah dan dampaknya terhadap produksi tanaman.

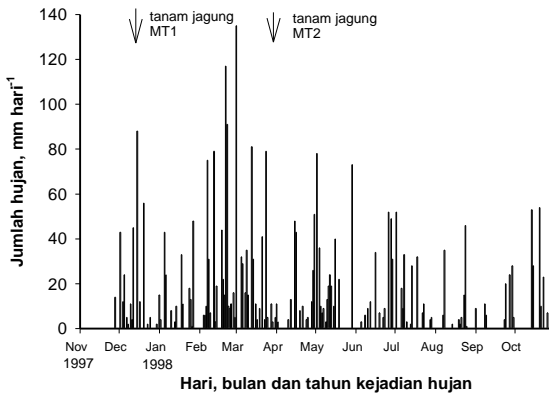
Contoh

Guna memahami kendala-kendala yang ada di dalam tanah, berikut adalah hasil simulasi WaNuLCAS pada tanah masam (Ultisol) di Karta, Pakuan Ratu. Data kesuburan tanah dan iklim yang digunakan sebagai masukan model ini diperoleh dari proyek BMSF (4° 30'S, 104°98'E). Tanah ini diklasifikasikan sebagai *Grossarenic Kandiudult* (Van der Heide *et al.*, 1992), dan beberapa karakteristik kimia dan fisik tanah

disajikan di Tabel 6.1. Data iklim yang digunakan adalah data yang diperoleh pada musim tanam September 1997 - September 1998 dengan sebaran curah hujan yang disajikan pada Gambar 6.2.

Tabel 6.1 Beberapa sifat tanah yang digunakan dalam simulasi (KTK = Kation dapat ditukar, BI = bobot isi tanah.)

Kedalaman tanah, m	pH _{H2O}	KTK cmol kg ⁻¹	Bahan organik tanah, %	Total N, %	Partikel tanah, %			BI g cm ⁻³
					Pasir	Debu	Liat	
0.0-0.05	5.3	5.05	2.79	0.13	65.8	13.0	22.2	1.36
0.05-0.2	5.6	2.42	1.29	0.09	56.3	15.5	29.2	1.39
0.2-0.4	5.7	2.83	0.83	0.05	55.1	13.7	32.2	1.52
0.4-0.8	5.6	5.65	0.29	0.03	49.8	13.3	36.9	1.55



Gambar 6.2 Sebaran curah hujan yang digunakan dalam simulasi (total curah hujan antara bulan Nopember 1997 hingga bulan Oktober 1998 adalah 3102 mm).

Studi kasus 1:

Pola tanam yang diuji pada contoh ini adalah sistem jagung monokultur secara terus menerus yaitu dilakukan dua kali tanam jagung secara berturutan dalam satu tahun. Pada musim tanam pertama (MT1) jagung ditanam pada tanggal 14-12-97, dan pada musim tanam kedua (MT2) ditanam pada tanggal 27-03-1998. Guna mempelajari dampak kekurangan air, N dan P dalam tanah terhadap produksi jagung, maka pada simulasi model tersebut **tanah tidak diairi** (tanah tadah hujan) dan **tidak dipupuk N** maupun **P**.

Keluaran yang ingin diperoleh:

- (1) Berapa produksi potensial jagung (yang hanya mungkin diperoleh secara teoristis) bila tidak ada hambatan kurang air, N, dan P?

- (2) Berapa produksi jagung yang diperoleh dengan kondisi curah hujan yang ditunjukkan pada Gambar 6.2. bila **dilakukan pemupukan N dan P** dalam jumlah cukup?
- (3) Berapa produksi jagung yang diperoleh bila **hanya dipupuk P** dalam jumlah cukup? dan berapa produksi yang diperoleh bila **hanya dipupuk N** dalam jumlah cukup?
- (4) Berapa produksi jagung yang diperoleh bila tidak dipupuk N dan P?
- (5) Kapan kekurangan air, N dan P yang terjadi selama periode pertumbuhan dapat membatasi produksi biji?

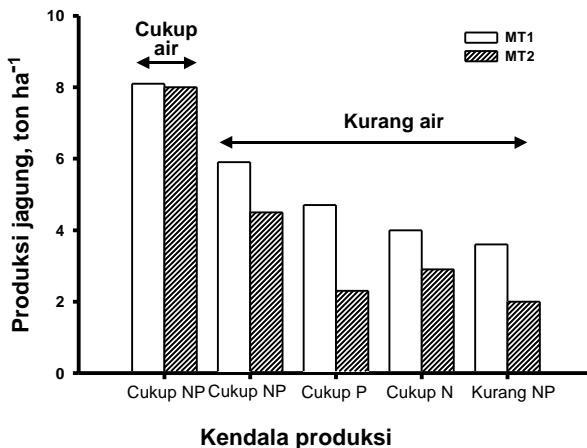
Catatan

Untuk keluaran 3, 4 dan 5 kondisi curah hujannya sama dengan Gambar 6.2.

Keluaran model:

- ...produksi potensial jagung

Hasil simulasi WaNuLCAS ini menunjukkan bahwa tanah di Karta kurang sehat (Gambar 6.3). Tanah sehat di sini diartikan sebagai tanah yang tidak mempunyai kendala kekurangan air, hara N dan P, sehingga produksi yang diperoleh maksimum. Produksi ini hampir tidak mungkin diperoleh pada kondisi lapang, oleh karena itu sering juga disebut sebagai produksi potensial. Pada gambar 6.3 tersebut dapat dilihat bahwa pada kondisi sehat produksi potensial jagung mencapai 8 ton ha⁻¹ baik pada MT1 maupun MT2. Hal yang dapat dipelajari di sini bahwa usaha pemupukan N dan P pada kondisi kekeringan tidak meningkatkan produksi biji baik pada MT1 maupun MT2. Dan bila dilihat lebih jauh bahwa menanam jagung pada MT2 di daerah Lampung Utara nampaknya lebih berisiko tinggi dari pada MT1, karena adanya masalah kekeringan.



Gambar 6.3 Hasil simulasi tingkat produksi jagung pada berbagai kondisi cekaman (air, unsur N dan P) tanah.

Bila tanah kekurangan air dan jagung *hanya dipupuk P*, dengan memanfaatkan curah hujan yang terjadi selama musim pertumbuhannya maka produksi tanaman jagung pada MT1 masih lebih tinggi bila dibandingkan dengan *pemupukan N* saja. Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan jagung lebih dibatasi oleh rendahnya ketersediaan P.

Dan bila tanah tidak dipupuk sama sekali, maka produksi jagung yang diperoleh terendah dari pada perlakuan lainnya. Dengan demikian kesehatan tanah dapat diperbaiki bila kita cukup memberikan masukan air, unsur N dan P. Untuk itu pengelolaan air, unsur N dan P pada tanah ini masih sangat diperlukan.

-cekaman air, N dan P

Kekurangan air, unsur N dan P tidak selalu terjadi selama periode pertumbuhan jagung tetapi hanya terjadi pada periode-periode tertentu, namun sangat membatasi pertumbuhan jagung (Gambar 6.4). Pada simulasi ini tingkat pembatas pertumbuhan ditunjukkan dengan **nilai nisbah jumlah air** (atau N atau P) **yang dapat diserap oleh tanaman** dengan **jumlah serapan maksimum**. Jumlah air atau hara maksimum tanaman diperoleh pada kondisi tanpa pembatas (optimal). Nilai tingkat pembatas pertumbuhan ini berkisar dari 0 (**sangat kekurangan**) hingga 1 (**surplus atau berlebihan**). Misalnya jumlah N yang dapat diserap oleh tanaman adalah 60 kg ha⁻¹, sedangkan jumlah serapan maksimum N adalah 90 kg ha⁻¹. Maka tingkat pembatas pertumbuhan tanaman pada kondisi ini adalah 0.66.

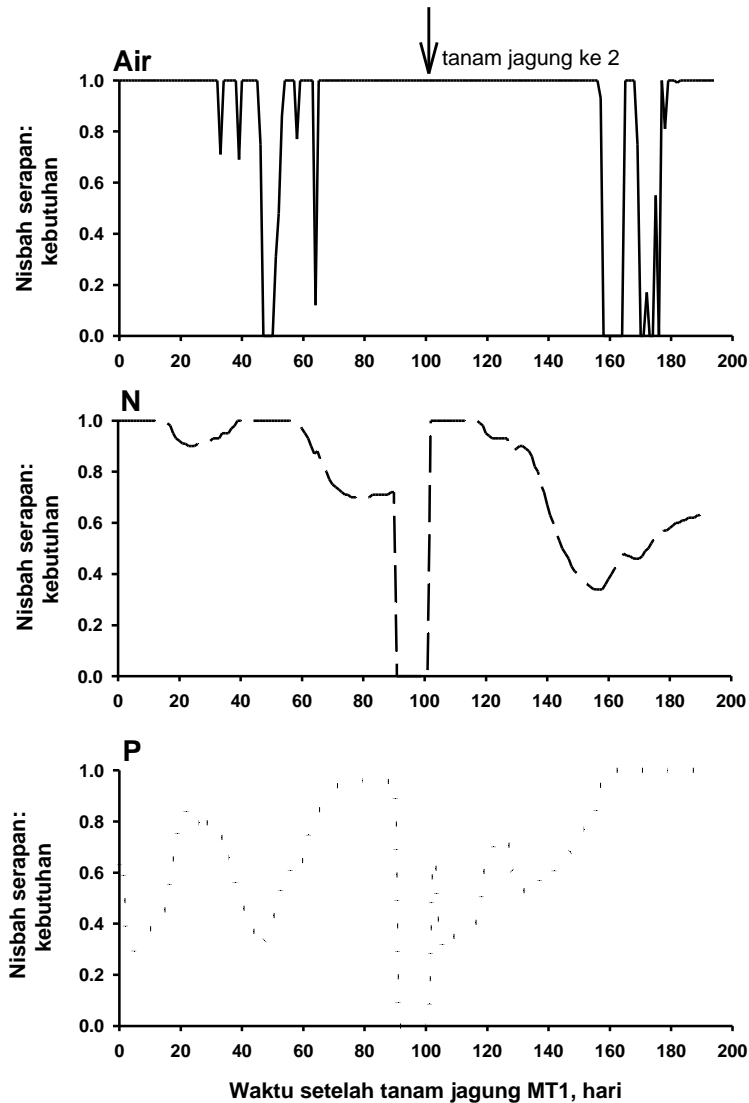
Pada MT1 kekurangan air terjadi pada waktu sekitar 30 hingga 70 hari setelah tanam (HST) jagung, dikarenakan pada periode tersebut curah hujannya rendah sedang pada saat itu pertumbuhan tanaman jagung telah mencapai maximum sehingga kebutuhan air relatif tinggi. Kekurangan air pada MT2 terjadi sekitar 50 hingga 80 HST. Walaupun waktu terjadinya kekurangan air ini relatif lebih pendek (50-80 HST) dari pada MT1 (30-70 HST), namun tingkat hambatannya lebih tinggi sehingga mengakibatkan penurunan produksi jagung yang lebih tinggi pula.

Pada MT1 kekurangan unsur N tanaman jagung terjadi antara 20-40 dan 60-90 HST, sedang pada MT2 terjadi setelah 20 HST. Dampak kekurangan N terhadap pertumbuhan jagung pada MT 2 lebih parah dari pada MT1.

Kekurangan unsur P tanaman jagung terjadi pada awal musim hingga tanaman berumur 70 HST pada semua musim. Pada MT1 tanaman jagung telah mengalami kekurangan hara P pada awal pertumbuhan (0-20 HST) dan pada awal pembungaan (35-60 HST), sedang pada MT2 terjadi hampir selama masa pertumbuhan. Rendahnya ketersediaan unsur P pada tanah masam nampaknya menjadi penyebab utama gagal panen tanaman jagung di daerah Lampung Utara. Penyebab rendahnya ketersediaan P pada tanah masam telah dijelaskan secara rinci pada Bab 3.

Kesimpulan

1. Ketersediaan air, N dan P di Lampung Utara menjadi pembatas utama pertumbuhan jagung. Pengelolaannya sangat penting untuk dilakukan.
2. Kombinasi pemupukan N dan P perlu dilakukan.
3. Risiko gagal panen tinggi bila jagung ditanam pada MT 2 karena masalah kekeringan.
4. Kapan kekurangan air dapat menghambat pertumbuhan jagung?
 - Pada MT1: terjadi di antara 30 - 70 HST
 - Pada MT2: terjadi di antara 50 - 80 HST
5. Kapan kekurangan N dapat menghambat pertumbuhan tanaman?
 - Pada MT1: terjadi di antara 20-40 hari dan 60-90 HST
 - Pada MT2 terjadi setelah 20 HST
6. Kapan kekurangan P dapat menghambat pertumbuhan tanaman?
 - Pada MT1 dan MT2: terjadi di antara 0-70 HST



Gambar 6.4 Hasil simulasi produksi tanaman jagung pada berbagai kondisi pada berbagai musim tanam. Kondisi (A) kendala air, kondisi (B) kendala unsur N dan kondisi (C) kendala unsur P.

6.5.2 WaNuLCAS sebagai alat bantu evaluasi manfaat pengembalian sisa panen

Seperti telah diuraikan dalam Bab 3, bahwa usaha mempertahankan kandungan bahan organik tanah pada tingkat sekitar 3% adalah merupakan kunci utama untuk mempertahankan keberlanjutan produktivitas tanah di tropis. Untuk mempertahankan

tingkatan tersebut diperlukan masukan bahan organik sebanyak 8-9 ton ha⁻¹ th⁻¹. Salah satu jalan untuk mempertahankan kandungan bahan organik tersebut adalah dengan mengembalikan sisa panen ke dalam tanah. Model WaNuLCAS dapat dipakai untuk meramalkan dampak pengembalian sisa panen ke dalam tanah terhadap produktivitas tanah.

Studi kasus 2

Kembali studi kasus yang dipilih adalah di daerah Pakuan Ratu dengan kondisi tanah dan iklim yang sama dengan yang ditunjukkan pada contoh studi kasus 1. Simulasi ini juga menggunakan asumsi bahwa penghambat utama pertumbuhan jagung adalah cahaya, air dan N.

Tujuan dari simulasi ini adalah untuk mengetahui pengaruh jangka panjang (9 tahun) dari pengembalian sisa panen jagung terhadap produktivitas tanah. Perlakuan atau skenario yang dipilih adalah:

- (1) Ada pengembalian sisa panen dan
- (2) Tanpa pengembalian sisa panen.

Pada simulasi ini tidak dilakukan pengairan dan pemupukan N atau pupuk lainnya. Jagung dipakai sebagai tanaman indikator. Parameter produktivitas tanah yang dievaluasi adalah produksi jagung, besarnya masukan bahan organik, kandungan N tanah, besarnya serapan unsur N oleh tanaman jagung dan dampaknya terhadap pencucian N. Parameter tersebut dievaluasi selama 9 tahun pada kedalaman 0.8 m.

Keluaran yang diperoleh:

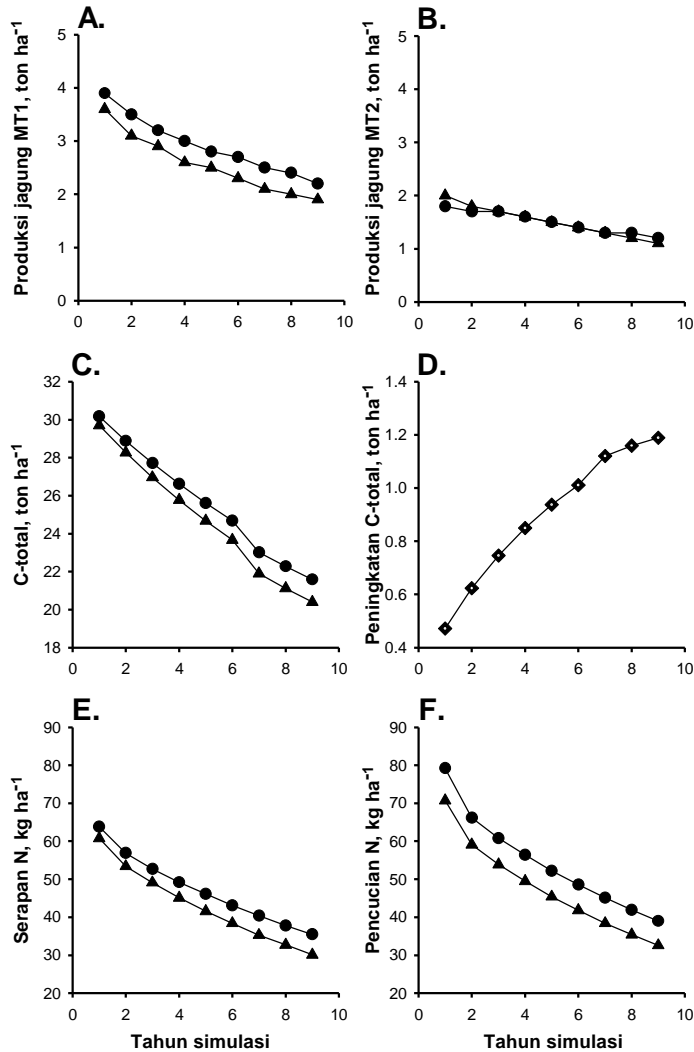
- *...pengelolaan bahan organik*

Hasil simulasi WaNuLCAS menunjukkan bahwa secara keseluruhan produktivitas tanah menurun dari waktu ke waktu, namun dengan adanya pengembalian sisa panen akan memperbaiki produktivitas tanah (Gambar 6.5.A dan 6.5.B). dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa adanya pengembalian sisa panen jagung dapat meningkatkan produksi jagung pada MT1, sedang pada MT2 tidak terjadi peningkatan/penurunan yang berarti.

Dampak pengembalian sisa panen terhadap pemeliharaan kandungan C-organik tanah untuk jangka panjang ditunjukkan dengan besarnya peningkatan kandungan C-total dari waktu ke waktu (Gambar 6.5.C dan 6.5.D). Kandungan C-total tanah selalu menurun dengan jalannya waktu, baik dengan maupun tanpa pengembalian sisa panen (Gambar 6.5.C). Adanya pengembalian sisa panen menyebabkan kandungan C total masih lebih tinggi dari pada tanpa pengembalian sisa panen. Walaupun kandungan C-total menurun setiap tahunnya, namun bila dilihat pada kenaikan C-total ($\Delta C =$ selisih C-total pada tanah yang ditambah sisa panen dengan yang tidak ditambah) dari waktu ke waktu selalu terjadi peningkatan (Gambar 6.5.D).

Kandungan N dalam bahan organik tanah mengalami peningkatan dari waktu ke waktu (data tidak disajikan di sini). Meningkatnya produksi tanaman jagung pada MT1 antara lain disebabkan oleh adanya peningkatan serapan N oleh tanaman jagung

(Gambar 6.5.E). Perbaikan pertumbuhan tanaman jagung sebagai akibat pengembalian sisa panen tersebut berdampak terhadap penurunan pencucian N (Gambar 6.5.F).



Gambar 6.5 Pengaruh pengembalian sisa panen: (-●-) dengan pengembalian dan (-▲-) tanpa pengembalian terhadap (A) produksi tanaman jagung MT1, (B) produksi tanaman jagung MT2, (C) kandungan bahan organik tanah, (D) peningkatan C-total, (E) serapan N oleh tanaman jagung, dan (F) tingkat pencucian N.

Pengembalian sisa panen juga memperbaiki kondisi ketersediaan N tanah, sehingga meningkatkan serapan N tanaman. Meningkatnya serapan N tanaman jagung ini tidak hanya meningkatkan produksi biji jagung tetapi juga mampu mengurangi jumlah N yang tercuci ke lapisan bawah.

Setiap tahun produktivitas tanah menurun walaupun sisa panen telah dikembalikan. Nampaknya pelepasan hara dari hasil mineralisasi bahan organik masih belum mencukupi kebutuhan tanaman, dengan demikian penambahan hara melalui pemupukan masih perlu dilakukan.

Kesimpulan:

- Pengembalian sisa panen jagung ke dalam tanah tidak dapat menghentikan penurunan kandungan C-total tetapi hanya dapat memperlambat kehilangan C-total.
- Pengembalian sisa panen mengurangi jumlah N yang hilang tercuci.

6.5.3 WaNuLCAS sebagai alat bantu evaluasi manfaat akar pohon sebagai jaring penyelamat hara

Masukan data dari simulasi ini juga diperoleh dari Pakuan Ratu, yang merupakan bagian dari daerah yang beriklim tropika basah. Di daerah tropika basah dengan curah hujan berkisar 1500 – 3500 mm per tahun, maka pencucian N dan hara lain pada lahan-lahan pertanian banyak terjadi. Hal ini antara lain disebabkan oleh dangkalnya sistem perakaran tanaman. Dangkalnya sistem perakaran pada tanah tersebut biasanya sebagai akibat keracunan Al pada lapisan bawah, dan rendahnya tingkat jerapan tanah (Bab 3).

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. Seperti telah diuraikan pada Bab 5, dengan dipilihnya pepohonan yang berperakaran dalam yang menyebar di bawah sistem perakaran tanaman semusim diharapkan dapat berfungsi sebagai jaring penyelamat hara yang tercuci ke lapisan bawah. Ada dua kemungkinan akar pohon dapat mengurangi jumlah hara yang tercuci ke lapisan bawah adalah: (a) menyerap hara pada lapisan atas tanah atau (b) menyerap hara tercuci yang telah berada di lapisan bawah. Untuk usaha pertanian tentu saja kemungkinan mekanisme ke dua yang lebih diharapkan, karena mekanisme pertama justru menimbulkan kompetisi dengan tanaman semusim.

Studi kasus 3

Model WaNuLCAS dapat dipakai sebagai alat bantu dalam mendiagnosa effectivitas penyisipan tanaman pohon yang ditanam berbaris di antara tanaman semusim terhadap pencucian N (Gambar 6.6). Untuk menguji itu pola tanam pagar perlu dibandingkan dengan pola tanam jagung monokultur. Untuk melakukan diagnosa ini kembali digunakan masukan data pada kasus 1. Simulasi dilakukan selama 9 tahun pada kedalaman tanah 0.8 m (Tabel 6.2):

Tabel 6.2 Skenario pola tanam yang diuji dalam simulasi WaNuLCAS

	Pola Tanam	Keterangan
1	Monokultur jagung - jagung	Tanpa pemupukan
2	Monokultur jagung - jagung	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

Tanaman pagar yang ditanam adalah petaian dengan jarak tanam 4 x 0.5 m. 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.

Beberapa pertanyaan yang akan dijawab melalui simulasi ini antara lain adalah:

1. Apakah produksi jagung menurun dalam sistem budidaya pagar?
2. Apakah pemupukan N masih meningkatkan produksi jagung?
3. Bagaimana neraca C pada ke dua sistem tersebut di atas?
4. Bagaimana neraca N pada ke dua sistem tersebut di atas?
5. Bagaimana perbedaan masukan bahan organik pada ke dua sistem tersebut di atas?
6. Bagaimana neraca air pada ke dua sistem tersebut di atas?

Sebenarnya masih banyak pertanyaan lain yang dapat diajukan dalam simulasi ini namun, untuk sementara cukup dibatasi dengan delapan pertanyaan saja.



Gambar 6.6 Penanaman petaian sebagai tanaman pagar di antara barisan jagung dalam sistem budi daya pagar (Foto: Meine van Noordwijk)

- ...meramal produksi jagung

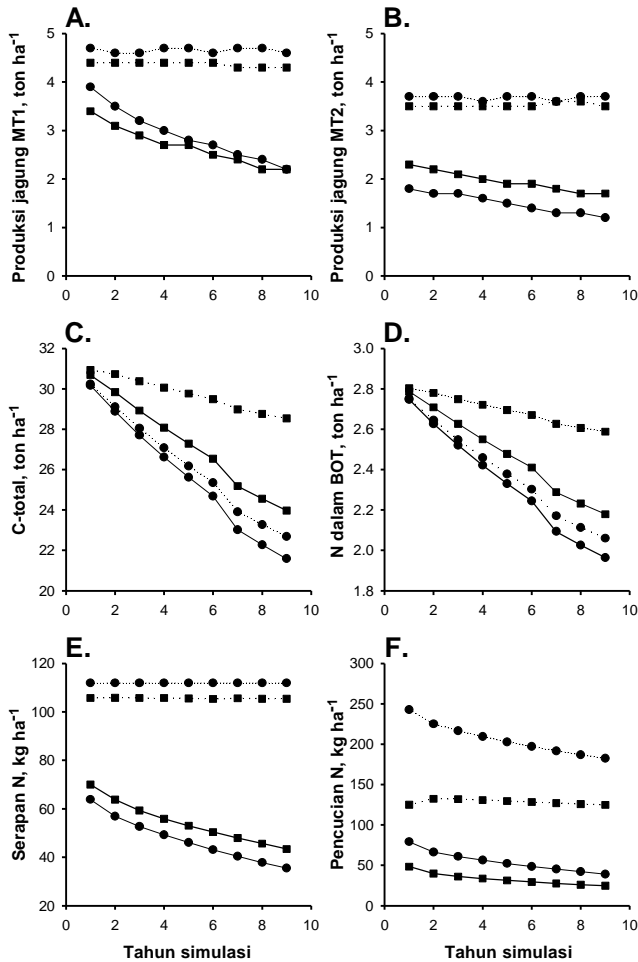
Pertanyaan ini sering dikemukakan petani mengingat bahwa harapan utama dari usaha tani adalah untuk mendapatkan hasil yang optimum. Adanya tanaman pagar mengakibatkan produksi jagung yang diperoleh lebih rendah bila dibandingkan dengan sistem monokultur baik yang dipupuk maupun tidak dipupuk (Gambar 6.7.A dan 6.7.B). Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada tahun pertama, produksi jagung tanpa dipupuk pada sistem budidaya pagar MT1 memang sedikit turun bila dibandingkan dengan sistem monokultur. Namun di tahun ke 9 tidak terjadi perbedaan produksi bila dibandingkan dengan sistem jagung monokultur (Gambar 6.7.A).

Pada MT2 hal sebaliknya yang terjadi, di mana tanpa pemupukan N produksi jagung pada budidaya pagar lebih tinggi daripada sistem monokultur. Dan dengan adanya pemupukan N pada sistem monokultur produksi jagung masih tetap lebih tinggi pada sistem budidaya pagar (Gambar 6.7.B).

Hasil tersebut di atas menunjukkan bahwa pada sistem budidaya pagar pada MT1 masih terjadi kompetisi akan unsur N antara tanaman pagar (petaian) dengan jagung. Pada Mt1 di mana kondisi tanah cukup air pertumbuhan tanaman pagar juga akan meningkat. Meningkatnya pertumbuhan tanaman pagar juga akan diikuti oleh meningkatnya kebutuhan N, dengan demikian kemungkinan terjadinya kompetisi N dengan tanaman pangan menjadi semakin besar.

Namun pada MT2 di mana ketersediaan air semakin berkurang dan ketersediaan N dalam tanah terbatas maka keberadaan tanaman pagar justru memberikan pengaruh positif terhadap jagung. Usaha pemupukan N pada kondisi kurang air tidak memberikan banyak perbedaan produksi jagung sistem monokultur dengan sistem budidaya pagar.

Seperti telah diyakini oleh banyak petani bahwa pemupukan N memberikan perbaikan produksi tanaman jagung. Hasil simulasi menunjukkan bahwa produksi tanaman jagung pada sistem monokultur yang dipupuk N meningkat dari tahun ketahun baik pada MT1 maupun MT2. Peningkatan produksi akibat pemupukan N ini lebih tinggi dari pada tanpa pemupukan N (Gambar 6.7.A dan 6.7.B). Peningkatan produksi jagung akibat pemupukan tersebut membuktikan bahwa penanaman petaian dalam sistem budidaya pagar belum mencukupi kebutuhan N tanaman jagung.



Gambar 6.7
Hasil simulasi pemupukan N pada sistem pola tanam monokultur (●) dan budidaya pagar (■). Pengaruh pemupukan N: tanpa N (—) dan dengan pemupukan N (---) terhadap (A) produksi tanaman jagung pada MT1, (B) produksi tanaman jagung pada MT2, (C) C-total tanah, (D) kandungan N dalam bahan organik tanah, (E) serapan N oleh tanaman jagung, dan (F) tingkat pencucian N dalam tanah.

- ...Meramal neraca karbon (C).

Daerah tropis memiliki jumlah curah hujan dan temperatur yang tinggi sehingga proses dekomposisi berjalan sangat cepat, oleh karena itu kandungan bahan organik menurun dengan cepat. Seperti telah diuraikan secara rinci di Bab 2 bahwa bahan organik berperan sangat penting dalam mempertahankan kesuburan tanah. Oleh karena itu pengelolannya perlu mendapatkan perhatian khusus.

Kandungan bahan organik tanah ini biasanya ditunjukkan dengan pengukuran C-organik dalam tanah atau juga dikenal dengan C- total. Hasil simulasi WaNuLCAS menunjukkan bahwa pada sistem budidaya pagar baik dengan maupun tanpa pemupukan N meningkatkan kandungan C- total tanah. Pada tahun pertama tanaman pagar belum memberikan pengaruh yang berarti terhadap kandungan C- total (Gambar 6.7.C). Tetapi dengan jalannya waktu, peningkatan kandungan C- total semakin besar pada sistem budidaya pagar yang dipupuk N yang ditunjukkan oleh semakin menjauhnya garis dari sistem budidaya pagar terhadap sistem monokultur.

Hasil yang perlu digaris bawahi adalah budidaya pagar tidak dapat mempertahankan kandungan C-total tanah tetap seperti kondisi semula, tetapi hanya memperlambat penurunannya. Adanya tambahan usaha pemupukan N pada sitem budi daya pagar dapat membantu memperlambat penurunan kandungan C-total bahkan dapat diharapkan mampu mempertahankan C-total tanah seperti kondisi semula untuk jangka waktu yang lebih lama.

Pola yang sama juga dijumpai pada cadangan N dalam tanah. Cadangan N tanah yang dimaksud di sini adalah N yang terkandung dalam bahan organik tanah atau biasa disebut dengan N- organik. Adanya tanaman pagar walaupun tidak dipupuk dapat meningkatkan cadangan N dari tahun ke tahun bila dibandingkan dengan sistem monokultur tanpa pemupukan (Gambar 6.7.D). Nampaknya peningkatan C-total tanah pada hasil simulasi ini juga diikuti oleh peningkatan cadangan N tanah.

- ...*Meramal Neraca Nitrogen*

Bila tidak ada usaha pemupukan serapan N tanaman jagung pada sistem budidaya pagar lebih tinggi dari pada sistem monokultur, namun bila ada usaha pemupukan maka justru hal sebaliknya yang terjadi (Gambar 6.7.E). Kesimpulan yang menarik dari contoh ini adalah pemupukan N pada sistem budidaya pagar justru merugikan tanaman jagung.

Pemupukan N pada sistem budidaya pagar akan menambah daya saing tanaman pagar dalam menyerap N

Pengembalian hasil pangkasan tanaman pagar dan adanya pemupukan dapat menambah N tersedia dalam tanah. Dan penambahan ketersediaan N dalam tanah menyebabkan pertumbuhan petaian juga meningkat sehingga tingkat kompetisi antara tanaman jagung dan petaian juga meningkat. Dan bila tanaman pagar yang ditanam mempunyai sebaran tajuk yang melebar maka perbaikan pertumbuhan tersebut justru merugikan tanaman jagung karena semakin besarnya naungan. Dengan demikian frekuensi pemangkasan perlu ditambah yang berarti tenaga kerja yang dibutuhkan juga menjadi semakin banyak.

Strategi pengelolaan yang dapat dirubah adalah teknik pemberian pupuk, sebaiknya tidak disebar melainkan diberikan di dekat perakaran tanaman jagung sehingga tanaman jagung dapat segera menyerapnya. Dengan demikian kehilangan N melalui pencucian dapat dikurangi.

- ... *pencucian N*

Pada daerah tropika basah banyak mineral-N (NH_4^+ dan NO_3^-) tanah yang hilang melalui pencucian antara lain disebabkan oleh:

- Tingginya tingkat mineralisasi N di lapisan tanah atas
- Rendahnya serapan N oleh tanaman
- Banyaknya unsur N yang bergerak ke lapisan bawah akibat curah hujan yang tinggi
- Dangkalnya sistem perakaran

Menanam petaian sebagai tanaman pagar di antara barisan tanaman pangan dalam sistem budidaya pagar diharapkan dapat menambah jumlah perakaran di lapisan bawah sehingga dapat berfungsi sebagai jaring penyelamat hara.

Hasil simulasi WaNuLCAS menunjukkan bahwa jumlah pencucian N pada sistem budidaya pagar lebih rendah daripada sistem monokultur (Gambar 6.7.F). Adanya usaha pemupukan justru menambah jumlah N yang tercuci ke lapisan bawah baik pada sistem budidaya pagar maupun sistem monokultur, tetapi jumlah N yang tercuci pada sistem budidaya pagar masih lebih rendah daripada sistem monokultur. Dengan adanya pemupukan N tersebut, nampaknya kemampuan tanaman pagar dalam menahan N tercuci ke lapisan bawah tidak mengalami banyak perubahan dari waktu ke waktu.

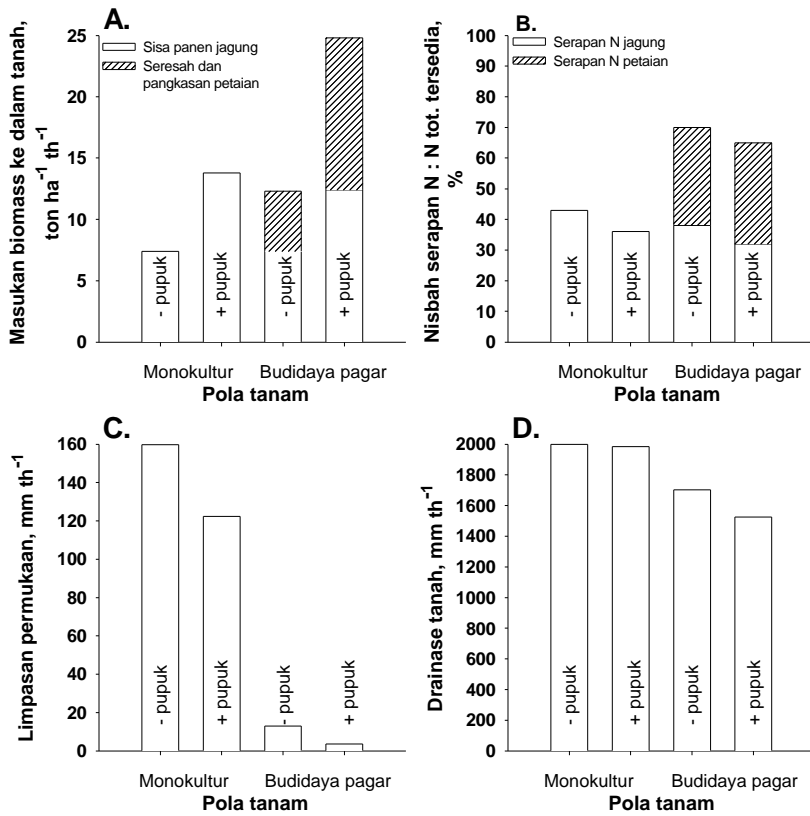
Tanpa adanya pemupukan, baik pada sistem monokultur maupun sistem budidaya pagar dapat mengurangi jumlah N yang tercuci dari tahun ke tahun. Hal ini kemungkinan jumlah cadangan mineral N dalam tanah telah menurun. Dengan demikian sebagian besar N yang tersedia dalam tanah habis diserap oleh tanaman, sehingga jumlah N yang tercuci juga akan berkurang.

- *....meramal serapan N*

Efisiensi serapan hara N oleh budidaya pagar lebih tinggi daripada sistem monokultur. Efisiensi serapan hara di sini ditunjukkan oleh besarnya persentase N yang dapat diserap oleh tanaman dari N total yang tersedia di dalam tanah.

Bila tidak ada usaha pemupukan, hanya sekitar 43 % dari jumlah kandungan N yang tersedia yang dapat diserap oleh jagung pada sistem monokultur, sedang pada sistem budidaya pagar sekitar 70% (38% diserap jagung dan 33% diserap petaian) (Gambar 6.8.B). Berarti sistem budi daya pagar memiliki efisiensi serapan N lebih tinggi dari pada sistem monokultur.

Bila ada usaha pemupukan, jumlah N tersedia dalam tanah yang dapat diserap oleh jagung pada sistem monokultur lebih rendah daripada sistem budidaya pagar. Pada sistem monokultur jagung hanya mampu menyerap 36% dari N tersedia, dan sekitar 65% pada sistem budidaya pagar (32% diserap oleh jagung dan 33% diserap oleh petaian) (Gambar 6.8.B).



Gambar 6.8 Pengaruh perlakuan pemupukan N terhadap: (A) rata-rata masukan biomassa ke permukaan tanah, (B) nisbah serapan N : N tersedia dalam tanah, (C) limpasan permukaan, dan (D) drainasi tanah pada pola tanam monokultur dan budidaya pagar.

Pada kondisi daerah ini ternyata efisiensi serapan hara oleh tanaman menurun dengan adanya usaha pemupukan baik pada sistem monokultur maupun budidaya pagar. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat sinkronisasi antara saat hara tersedia di dalam tanah dengan saat tanaman membutuhkannya masih rendah. Banyak cara yang bisa dilakukan untuk meningkatkan sinkronisasi tersebut antara lain mengatur waktu dan teknik pemupukan, atau menanam tanaman pagar yang berperakaran intensif pada lapisan bawah yang diharapkan dapat berperan sebagai jaring penyelamat hara. Dan dari hasil simulasi ini dapat diketahui bahwa petanian dapat menyelamatkan hara N adalah sekitar 33% dari total N yang tersedia bagi tanaman.

- ... meramal masukan bahan organik

Dalam sistem budidaya pagar ada dua sumber utama masukan bahan organik yaitu dari (a) sisa panen tanaman jagung, (b) hasil pangkasan cabang ranting dan daun tanaman pagar, (c) seresah yaitu daun-daun yang jatuh selama pertumbuhan. Sedang

dalam monokultur masukan bahan organik hanya berasal dari seresah dan sisa panen tanaman jagung.

Dari hasil simulasi WaNuLCAS menunjukkan bahwa masukan biomas asal sisa panen tanaman jagung pada sistem monokultur tanpa pemupukan rata-rata selama sembilan tahun adalah sebesar $7.4 \text{ ton ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ (2 musim tanam), sedang pada sistem budidaya pagar sekitar $12.3 \text{ ton ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ ($7.4 \text{ ton ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$ dari tanaman jagung dan $5.9 \text{ ton ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$ dari pangkasan + seresah petaian) (Gambar 6.8.A). Masukan biomas rata-rata selama sembilan tahun dari tanaman jagung pada sistem monokultur yang dipupuk N adalah sebesar $13.8 \text{ ton ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$, sedang pada sistem budidaya pagar sebesar $25.8 \text{ ton ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ ($12.4 \text{ ton ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ dari tanaman jagung, dan $12.4 \text{ ton ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ dari pangkasan + seresah petaian). Masukan biomas tanaman tersebut belum termasuk masukan biomass dari sistem perakaran yang tidak disajikan dalam hasil simulasi ini.

Hasil estimasi biomas tanaman jagung ($7.4 \text{ ton ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$) ini agak terlalu tinggi bila dibandingkan dengan pengukuran di lapangan. Produksi biomas jagung di lapangan rata-rata berkisar antara $2 - 3 \text{ ton ha}^{-1}$ pada MT1 dan $0.75 - 1.5 \text{ ton ha}^{-1}$ pada MT2. Perbedaan data biomass jagung ini terjadi mungkin dikarenakan dalam simulasi ini diasumsikan cukup P dan tidak ada kompetisi dengan gulma.

- ... *meramal neraca air*

Dalam sistem kesetimbangan air ini yang akan dievaluasi adalah manfaat penyisipan tanaman pohon dalam sistem budidaya pagar terhadap limpasan permukaan dan drainasi air keluar dari sistem perakaran tanaman. Ada dua aspek yang memberikan kontribusi nyata dalam menentukan tingkat kehilangan unsur hara pada suatu sistem pertanian, yaitu:

- **Limpasan permukaan.** Semakin besar tingkat limpasan permukaan maka potensi kehilangan tanah (erosi) beserta unsur hara yang terkandung di dalamnya juga semakin besar.
- **Drainasi.** Semakin besar drainasi tanah maka potensi pencucian hara juga semakin besar.

Kedua aspek tersebut memberikan kontribusi yang nyata dalam menentukan tingkat kehilangan unsur hara dalam suatu sistem pertanian, yang tentunya akan berakhir pada degradasi lahan. Dari hasil simulasi WaNuLCAS menunjukkan bahwa limpasan permukaan pada sistem budidaya pagar lebih rendah daripada sistem monokultur (Gambar 6.8.C).

Menurunnya limpasan permukaan pada sistem budidaya pagar meningkatkan jumlah air yang masuk ke dalam tanah (air infiltrasi) yang dapat dipergunakan oleh akar petaian dan jagung. Dengan demikian walaupun jumlah air infiltrasi lebih banyak pada sistem budidaya pagar, namun jumlah air drainasi (air yang keluar dari daerah perakaran) semakin berkurang bila dibandingkan dengan sistem monokultur (Gambar 6.8.D).

Apa sebenarnya yang dapat kita pelajari dari keluaran simulasi tersebut di atas?

- Untuk jangka pendek sistem budidaya pagar tidak memberikan keuntungan yang berarti bagi penyediaan C-total tanah. Namun untuk jangka panjang, sistem budi daya pagar berpengaruh positif terhadap penyediaan C-total dalam tanah walaupun masih terjadi penurunan dari waktu ke waktu.
- Untuk jangka panjang *Budidaya pagar* dapat memberikan beberapa keuntungan antara lain:
 - Mengurangi jumlah N tercuci ke lapisan bawah dan meningkatkan ketersediaan N dalam tanah
 - Mempertahankan kandungan bahan organik tanah
 - Mengurangi jumlah limpasan aliran permukaan
 - Menambah jumlah air infiltrasi

Pemupukan N

- Pemupukan N pada sistem budidaya pagar masih perlu dilakukan untuk memperlambat penurunan kandungan C-total tanah, bahkan dapat mempertahankan kandungan C-total tanah seperti kondisi semula untuk jangka waktu yang lebih lama.
- Pemupukan N akan memperbaiki C-total tanah, dengan demikian akan menjamin tingginya cadangan N-organik dalam tanah.
- Pemupukan N memberikan keuntungan tanaman pangan bila diberikan pada sistem monokultur.

Namun

Pemupukan meningkatkan jumlah N yang tercuci ke lapisan bawah baik pada sistem jagung monokultur maupun sistem budi daya pagar. Jumlah pencucian N pada sistem budidaya lebih rendah dari pada sistem jagung monokultur.

Ringkasan: interaksi pohon-tanah-tanaman pangan

Dari semua aspek interaksi pohon -tanah-tanaman pangan yang ada, maka dapat dibuat suatu ringkasan sederhana tentang pengaruh tanaman pagar petanian terhadap produksi jagung pada sistem budi daya pagar (Tabel 6.3).

Dengan menggunakan model simulasi, dapat dipelajari bahwa pengaruh budidaya pagar sangat ditentukan oleh sifat dari masing-masing tanaman pagar. Petanian tidak dapat menambat N dari udara karena tidak memiliki bintil akar. Hal ini menunjukkan adanya ketergantungan sistem budidaya pagar tersebut terhadap pemupukan N. Tetapi apakah mungkin '*jaring penyelamat hara*' dapat diperoleh dalam sistem tersebut bila tanaman pagar (legum) menyebabkan kelebihan N tersedia dalam tanah? Nampaknya fungsi tersebut akan berkurang bahkan hilang, karena tanaman pagar akan menggunakan N hasil penambatan dari udara. Apa yang akan terjadi bila dua jenis tanaman (yang memiliki dan tidak memiliki bintil akar) dikombinasikan? Hal ini telah dicoba pada

kebun percobaan BMSF dengan mengkombinasikan gamal (berbintil akar) dengan petaian (tidak berbintil akar), hasil yang diperoleh membenarkan bahwa peran gamal sebagai jaring penyelamat hara lebih kecil dari pada petaian. Alasan lain bisa juga karena distribusi perakaran gamal lebih dangkal dari pada petaian.

Tabel 6.3 Evaluasi dampak interaksi pohon dan tanaman pangan dalam sistem budidaya pagar dibandingkan dengan sistem monokultur.

Dampak pada	Indikator	Pengujian simulasi terhadap inovasi tanaman pagar petaian ⁾	
		Tanpa pupuk N	Dipupuk N
Peningkatan produktivitas lahan	Produksi pada MT1	0	-
	Produksi pada MT2	+	-
Kesuburan tanah	Bahan OrganikTanah	+++	+++
	Serapan N	+	-
Siklus unsur hara	Pencucian N	+	+++
	Jaring penyelamat hara	++	++
Sistem penyangga air	Limpasan permukaan	+++	+++
	Drainasi	+	+

⁾ Dampak agak positif (+), cukup positif (++), sangat positif (+++), dan dampak agak negatif (-)

6.5.4 WaNuLCAS sebagai alat bantu evaluasi kesuburan tanah setelah bera

Hubungan tanah “dingin” dan usaha pemupukan pada sistem bera

Petani menyatakan kesuburan tanah dengan menggunakan istilah ‘*dingin*’ (subur) dan ‘*panas*’ (tidak subur). Sedangkan peneliti di bidang ilmu tanah menghubungkan kesuburan tanah dengan berbagai sifat tanah yang dapat diukur, namun tidak satupun sifat yang diukur dapat menggambarkan istilah sederhana tadi dengan tepat. Kemungkinan pendekatan yang paling tepat adalah dengan menghitung **kejenuhan bahan organik tanah** (lihat bab 4), yaitu nisbah antara **kandungan total bahan organik tanah** (C_{total} atau C_{org}) pada kondisi sekarang dengan **kandungan bahan organik tanah di bawah tegakan hutan** (C_{ref}) yang bertekstur tanah dan iklim sama. Nilai nisbah (C_{org}/C_{ref}) yang diperoleh berkisar antara 0 – 1. Semakin rendah (mendekati nol) nilai nisbah C_{org}/C_{ref} suatu tanah maka tanah tersebut semakin ‘*panas*’. Bila nilai C_{org}/C_{ref} mendekati nilai 1, maka tanah tersebut diklasifikasikan ‘*dingin*’. Tanah pada lahan hutan yang baru saja dibuka mempunyai nilai nisbah 1 (Gambar 6.9). Sedangkan tanah hutan mempunyai nilai ≥ 1 , dikategorikan ‘*lebih dingin dari dingin*’.



Gambar 6.9 Tanah hutan ... 'tanah dingin' dengan lapisan organik tebal (Foto: Meine van Noordwijk)

Studi kasus 4

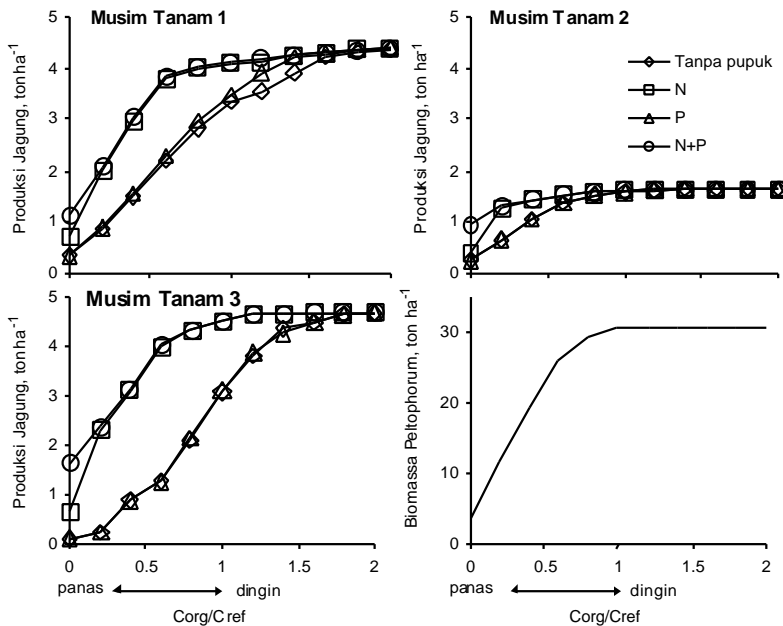
Berdasarkan berbagai kondisi kejenuhan bahan organik tanah (C_{org}/C_{ref}) ini, kita dapat melakukan simulasi model misalnya tentang respon tanaman jagung terhadap pemupukan N dan P setelah lahan diberakan selama 2 tahun. Pada simulasi ini lahan bera ditumbuhi oleh petaian (*Peltophorum*). Gambar 6.10 menunjukkan profil tanah bagian atas pada lahan bera (petaian). Masukkan data kesuburan tanah dan iklim tetap masih sama dengan yang dipergunakan pada studi kasus sebelumnya.



Gambar 6.10 Akumulasi seresah daun petaian yang lambat lapuk. (Foto: Wirastanto)

Hasil simulasi memperlihatkan bahwa produksi jagung setelah 2 tahun pembeeraan sangat berkaitan dengan *'dinginnya'* tanah pada awal pembeeraan. Pembeeraan selama 2 tahun ini tidak akan mempunyai pengaruh apapun pada tanah yang sudah terlanjur *'panas'*, dengan C_{org}/C_{ref} kurang dari 0.5 (Gambar 6.11). Hal ini sebagian dikarenakan pohon petaian tidak dapat tumbuh dengan baik sehingga tidak dapat memperbaiki kesuburan tanah. Tanah dengan nisbah C_{org}/C_{ref} sebesar 0.8 masih dapat menghasilkan produksi jagung yang cukup tinggi, meskipun tanpa pemupukan. Produksi jagung di musim tanam ketiga sangat tergantung kepada tingkat kesuburan tanah awal (sebelum pembeeraan). Jika nisbah $C_{org}/C_{ref} > 0.8$ maka respon tanaman jagung terhadap pemupukan akan rendah. Sedangkan pada tanah dengan nisbah $C_{org}/C_{ref} < 0.8$, respon tanaman jagung akan positif terhadap pemupukan N. Dalam hal ini, diasumsikan bahwa selama masa bera tidak ada masukan N secara langsung, N hanya didapatkan dari bahan organik tanah.

Respon tanaman jagung terhadap pemupukan P juga sangat kecil, meskipun nilai awal P-Bray tanah cukup rendah. Dalam model ini, bahan organik tanah memberi masukan N dan P, tetapi unsur N merupakan faktor pembatas yang utama sehingga tanaman menunjukkan respon yang lebih besar terhadap penambahan N.



Gambar 6.11 Estimasi produksi biji jagung selama 3 musim tanam (MT). MT 1 dan 3 adalah pada musim penghujan (Desember-Maret) dari dua tahun simulasi, sedang MT 2 adalah pada kondisi kering (April-Juni). Setelah tanah diberakan (ditumbuhi petaian) yang merupakan titik awal simulasi, tanah mendapat perlakuan dengan atau tanpa pupuk N dan/atau P.

Produksi jagung di musim tanam kedua lebih rendah dibandingkan dengan musim tanam kesatu dan ketiga, karena masalah kekurangan air. Pemberian pupuk pada musim tanam kedua ini tidak akan memperbaiki produksi jagung, kecuali pada tingkat nisbah $C_{org}/C_{ref} < 0.5$ (pada kondisi tanah '*panas*'). Hal inipun belum tentu menguntungkan karena tingkat produksi jagung yang diperoleh sangat rendah.

Secara keseluruhan contoh ini memperlihatkan bagaimana kita dapat menterjemahkan sifat '*dinginnya*' tanah ke dalam model dan membuat suatu prediksi yang masuk akal mengenai respon tanaman terhadap kandungan bahan organik, pemupukan, dan perbedaan musim dan tahun.

6.6 Penutup

Model WaNuLCAS ini diharapkan bisa dipergunakan oleh para praktisi dan penyuluh di masa mendatang untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan yang mungkin muncul di lapangan. Melalui simulasi model ini para praktisi dan penyuluh dapat memberikan jawaban yang cepat, dan bahkan dapat memberikan saran-saran untuk memperkecil pengaruh negatif pohon dalam sistem agroforestri.

7 Cara memahami petani: menggali pendapat dan keinginan petani

7.1 Pentingnya memahami petani

Pembangunan yang dilaksanakan di Indonesia selama beberapa dekade terakhir mengakibatkan terjadinya perubahan besar di bidang pertanian. Banyak sekali proyek pembangunan pertanian yang dilaksanakan untuk mencapai kondisi seperti saat ini. Bila diamati dengan cermat, ternyata banyak proyek pembangunan pertanian yang hasilnya tidak dapat diterima dan diterapkan oleh petani sesuai dengan tujuan proyek tersebut. Seringkali ditemukan bahwa pada saat sebuah proyek berakhir, ternyata petani tidak lagi menerapkan praktek pertanian sesuai dengan model-model yang telah diterapkan dalam proyek. Salah satu kriteria keberhasilan proyek pertanian yang melibatkan petani adalah bila petani mau menerima dan menerapkan sebanyak mungkin model yang dicobakan setelah proyek itu berakhir. Pada umumnya suatu proyek sangat dibatasi oleh waktu berdasarkan tahun anggaran, sehingga dasar penilaian terhadap keberhasilan suatu proyek lebih banyak difokuskan pada perubahan fisik yang mudah diukur (luas areal, jumlah petani, jumlah pohon, panjang teras, kenaikan produksi). Sementara perubahan sikap dan perilaku petani jarang sekali dipertimbangkan karena memerlukan waktu yang lebih lama dan sulit diukur.

Baik perencana, pelaksana maupun pemberi dana telah berupaya untuk selalu menyempurnakan proyek-proyek tersebut dengan memunculkan beberapa paradigma baru dalam pembangunan pertanian, di antaranya adalah pendekatan partisipatif. Namun demikian, penerapannya masih belum memuaskan, karena banyaknya hambatan misalnya tingkat kemampuan sumberdaya manusia dan sistem birokrasi yang sangat kuat. Beberapa kekurangan yang sebenarnya sudah disadari oleh para perencana dan pelaksana proyek namun ternyata sulit dihilangkan, di antaranya adalah:

- Petani diakui merupakan subyek pembangunan, namun dalam pelaksanaannya seringkali mereka diperlakukan sebagai obyek pelaksanaan program tersebut. Yang sekarang populer adalah pendekatan partisipatif, di mana dalam menyusun program untuk suatu kelompok sasaran juga mengikut-sertakan mereka secara aktif. Kenyataannya, cara-cara semacam ini malah menyulitkan para perencana dan pengambil keputusan karena mereka harus mendengarkan setiap komponen dalam kelompok sasaran yang bisa sangat beragam.

- Sudah disadari bahwa petani pada umumnya sangat beragam, namun seringkali para perencana proyek tidak bisa memilih kriteria keberagaman yang tepat untuk dipakai dalam mencirikan kelompok sasaran. Kriteria pengelompokan petani yang sering dipergunakan adalah luas kepemilikan lahan, jumlah anggota keluarga, tingkat pendapatan, dan tingkat pendidikan. Tetapi sangat jarang yang memperhatikan kualitas dan penyebaran lokasi lahan pertanian (selain luasnya), tingkat perkembangan rumah tangga (selain jumlah anggota KK), modal awal dan kegiatan usahatani sendiri (*on-farm*) atau kegiatan di luar pertanian (*off-farm*), pengalaman dan pengetahuan bertani serta sejarah dalam bertani. Beberapa kriteria yang disebutkan terakhir ini lebih banyak menentukan pengambilan keputusan untuk masa mendatang bagi para petani, sehingga akan mempengaruhi dampak suatu proyek pertanian di lingkungan mereka.
- Dominansi pola pikir disipliner dari para perencana dan pelaksana proyek, sehingga mengakibatkan sudut pandang yang sempit. Faktor yang di luar disiplinnya seringkali hanya diasumsikan saja, dan seringkali asumsi tersebut kurang atau bahkan tidak sesuai dengan kenyataan yang ada. Tidak jarang pertimbangan lebih dititik-beratkan pada aspek biofisik dengan mengaburkan aspek sosial ekonomis karena cara pandang yang lebih dipengaruhi oleh pendekatan komoditas (*commodity oriented*).
- Kecenderungan bias dalam evaluasi keberhasilan proyek (program) yang menitik beratkan pada bukti fisik, idealnya yang dievaluasi adalah perubahan tingkah laku petani yang baru bisa terukur 3-7 tahun sesudah program selesai. Konsekuensi dari cara evaluasi seperti ini maka dalam pemilihan peserta proyek cenderung dipilih petani yang sudah terjamin kehidupannya (mempunyai sumberdaya lahan relatif berlebih atau terjamin kehidupannya) karena kegiatan di luar sektor pertanian, *non-farm*. Dengan demikian terjadi bias pemilihan petani peserta sasaran, yakni petani yang relatif kaya. Dengan adanya proyek itu mereka menjadi lebih diuntungkan mengingat walaupun tanpa proyek sebetulnya mereka juga akan berkembang. Keikutsertaan mereka pada suatu proyek menyebabkan terciptanya pilihan baru yang secara ekonomis akan menguntungkan jika dibandingkan kondisi tanpa proyek. Sebagai akibatnya para petani miskin yang semestinya merupakan sasaran proyek menjadi semakin tidak tersentuh.
- Bias karena aksesibilitas - karena alasan tertentu (sulit dijangkau kendaraan terutama saat musim penghujan). Karena pertimbangan aksesibilitas, pemilihan petani peserta proyek cenderung sebatas petani yang mudah dijangkau. Sedangkan para petani miskin, yang justru sering merupakan target proyek, umumnya berada di daerah yang sulit dijangkau (*remote area*).

- Penggunaan asumsi yang kurang tepat, dengan menganggap bahwa petani sasaran memiliki karakteristik yang seragam – meskipun sebenarnya beragam. Walaupun dalam rumah-tangga yang sama sebetulnya akan mengalami perkembangan sesuai dengan usia rumah-tangganya, yang mana akan dicerminkan oleh *stadia perkembangan rumah-tangga*. Keberagaman petani tersebut antara lain disebabkan oleh: stadia perkembangan rumah tangga, modal awal, dan kemampuan individual (pendidikan, pengetahuan, ketrampilan). Walaupun petani transmigran memulai pada saat yang relatif sama, mendapatkan lahan jatah yang sama akan tetapi karena kondisi modal awal, pengetahuan serta stadia perkembangan rumah tangga yang tidak sama, akan berisiko tinggi untuk menganggap kondisi mereka seragam. Keragaman ini justru merupakan informasi yang penting, seperti halnya adanya suatu proses stadia perkembangan rumahtangga yang secara bertahap harus dilalui oleh masing-masing rumah tangga, yang berimplikasi pada ketersediaan sumber daya tenaga kerja, curahan tenaga, prioritasasi keperluan dan penggunaan sumber daya yang ada. Pengandaian kondisi petani yang seragam yang mana hanya diwakili nilai tengah (rata-rata) berdasarkan hasil survei, akan menyebabkan populasi petani diwakili oleh rumah-tangga yang bersifat maya, yang dalam kenyataannya mungkin hanya diwakili oleh sedikit rumah-tangga ataupun bahkan rumah tangga seperti itu tidak pernah ada.
- Para peneliti sering melupakan bahwa cara pandang petani terhadap suatu masalah mungkin berbeda dengan cara pandang peneliti. Petani mempunyai peranan ganda, sebagai tenaga kerja, sebagai manajer usahatani dan sekaligus sebagai kepala rumah-tangga. Mereka menjalankan sebuah rumah tangga dengan sistem usaha-tani sebagai salah satu subsistemnya.

Paparan di atas menunjukkan beberapa hal penting yang sering dilupakan atau sulit diterapkan dalam memahami petani. Untuk bisa memahami petani secara benar mengharuskan kita memposisikan diri sebagai petani dengan segala kemampuan dan keterbatasan mereka. Semakin banyak dari hal di atas diabaikan, maka semakin besar peluang pemahaman kita menjauhi kenyataan, yang nantinya berimplikasi ke peluang kegagalan program. Lebih-lebih apabila proyek pertanian itu melibatkan program jangka panjang seperti penanaman tanaman tahunan atau pepohonan, perbaikan lahan yang terdegradasi, dan sebagainya. Mengingat tananaman pepohonan berumur panjang, maka berbagai hal tersebut di atas perlu mendapatkan perhatian yang serius, karena bila terjadi kesalahan pengambilan keputusan saat ini dampak implikasinya baru muncul beberapa tahun mendatang dan sudah sulit untuk dirubah.

7.2 Bagaimana memahami petani?

Dalam usaha memahami petani, perlu disadari bahwa mereka tidak hanya menjalankan usahatani semata, tetapi mereka menjalankan sebuah rumah tangga - di mana usaha tani merupakan salah satu sumber pendapatan baik untuk dikonsumsi sendiri, dijual ataupun kombinasinya. Usaha tani pada suatu ketika bisa menjadi sumber pendapatan nomor satu, tetapi bisa jadi nomor dua atau tiga dan seterusnya, di mana prioritas ini dapat berubah-ubah dengan keadaan dan waktu. Tingkat prioritas keluarga terhadap usaha tani merupakan sumber keragaman yang sangat penting. Karenanya, dalam memahami petani idealnya perlu pendekatan “sistem rumah tangga” petani bukan sebatas pendekatan “sistem usaha tani”.

7.2.1 Menggali informasi

Kita sebagai peneliti, perencana dan pelaksana proyek merupakan orang luar yang berperan sebagai agen pembangunan pertanian bagi para petani. Kita semua menjadi kelompok yang seakan-akan mengerti betul apa yang seharusnya diperbuat oleh para petani untuk meningkatkan taraf hidup mereka. Untuk itu kita tidak bisa hanya sekedar tahu siapa petani itu melalui asumsi-asumsi menurut pikiran masing-masing, tetapi kita harus mengenal dan memahami semua aspek kehidupan petani itu. Oleh karena itu dalam bab ini dipilih istilah memahami petani bukan melihat atau mengenal. Istilah memahami mengandung pengertian yang lebih mendalam dan menyeluruh dibanding melihat dan mengenal. Konsekuensinya, kita harus mempunyai dan menguasai cara atau metode untuk memahami petani sehingga dapat menjawab hal itu. Cara atau metode pemahaman petani meliputi proses menetapkan petani siapa, apa yang akan dipahami dan bagaimana pemahaman ini akan dilakukan.

- Pertanyaan pertama tentang petani siapa, tampaknya tidak perlu dipersoalkan lagi. Namun meski kelompok sasaran seolah-olah sudah jelas, tetapi dari uraian sebelum ini menunjukkan bahwa di antara petani itu sangat beragam, sehingga sangat perlu ditentukan lebih rinci petani yang mana. Istilah semacam “petani miskin” atau “petani kecil” saja adalah kurang jelas, oleh karena itu harus diberikan batasan atau kriteria yang lebih lengkap. Kelompok sasaran yang tepat harus ditentukan berdasarkan tujuan proyek yang akan dilaksanakan. Pemilihan petani ini dapat juga ditentukan belakangan (tetapi bukan pada tahap akhir), setelah diketahui tingkat keragaman setempat. Untuk ini perlu dilakukan semacam proses pengenalan secara cepat terhadap keadaan di lapangan, misalnya melalui metoda pengenalan pedesaan secara cepat atau rapid rural appraisal.
- Pertanyaan kedua berkaitan dengan apa yang hendak dipahami berkaitan dengan macam informasi yang ingin diketahui atau digali dari para petani. Macam informasi yang hendak diketahui juga sangat

penting dalam membuka diri petani untuk dipahami. Untuk memahami petani tentunya harus diketahui semua aspek kehidupan dan kegiatan dari petani, keluarga dan sekitarnya. Dengan kata lain, jenis informasi yang akan digali tidak dapat dibatasi dari satu aspek atau disiplin saja, melainkan bersifat interdisiplin. Dari berbagai literatur dapat dibaca tentang jenis-jenis informasi yang diperlukan beserta kegunaannya. Karena banyaknya informasi yang hendak digali, sebaiknya dibuat daftar (check-list) jenis informasi yang diperlukan, yang dapat dipakai sebagai pedoman dalam proses penggalan data.

- Pertanyaan ketiga adalah bagaimana cara memperoleh informasi dari kelompok sasaran yang sudah ditetapkan itu sehingga dapat memahami dengan baik petani yang dimaksud. Ada berbagai cara penelitian masyarakat yang telah dikembangkan untuk menggali data sehingga dapat dipilih di sini. Beberapa cara yang ada misalnya observasi (pengamatan), wawancara, penggunaan data pengalaman individu, penggunaan kuesioner, dan sebagainya. Dari pengalaman tidak ada satupun metode yang dapat menjawab semua kebutuhan dengan baik. Oleh karena itu disarankan untuk memilih salah satu metode dan melengkapinya dengan beberapa metode lain.

Hal lain yang tidak boleh diabaikan dalam melaksanakan proses pemahaman petani adalah prinsip pengambilan contoh yang dapat mewakili kelompok sasaran serta isi informasi yang sah (valid). Untuk mendapatkan informasi yang sah dan mewakili serta nantinya dapat dipakai sebagai dasar ekstrapolasi hasil, maka setiap langkah perlu didasarkan pada prinsip-prinsip metode statistika. Dalam buku ini diberikan penekanan khusus pada cara-cara pendekatan kepada petani saja, sedangkan dasar-dasar metode statistika sengaja tidak dibahas.

7.2.2 Pendekatan sistem

Pendekatan sistem adalah metode ilmiah yang mencoba mengurai kerumitan suatu sistem melalui telaah kesaling-berhubungan dan kesaling-tergantungan di antara komponen penyusun sistem tersebut. Penerapan pendekatan sistem pada sistem rumah tangga petani mengharuskan kita mengurai sebuah rumah tangga menjadi beberapa komponen yang salah satu di antaranya adalah subsistem usaha tani. Pendekatan ini memang ideal, akan tetapi menyebabkan analisis menjadi sangat sulit karena jumlah komponen dan interaksinya menjadi sangat kompleks. Dengan beberapa pertimbangan dan karena alasan-alasan tertentu maka pendekatan *sistem rumah-tangga petani* ini kurang praktis untuk diterapkan. Sebagai alternatifnya adalah menggunakan pendekatan (sub)sistem usaha tani, dengan tetap berpandangan secara holistik bahwa sistem usaha tani hanya merupakan salah satu komponen sistem rumah tangga petani.

Dalam analisis harus diperhatikan kaitannya dengan komponen (sub)sistem rumah tangga lainnya.

7.2.3 Metode wawancara

Seperti telah disebutkan bahwa dalam memahami petani diperlukan pendekatan sistem yang bersifat holistik. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah tentang proses pengambilan keputusan. Apa yang ada sekarang ini merupakan hasil dari proses pengambilan keputusan di antara berbagai pilihan yang memungkinkan pada saat tersebut dan terkait dengan pengambilan keputusan masa lalu serta pada gilirannya akan menentukan apa yang akan terjadi di masa mendatang.

Untuk menggali informasi tentang usaha tani dapat digunakan beberapa metode misalnya observasi, survei dengan menggunakan kuesioner, wawancara, diskusi, dan sebagainya. Di antara metode tersebut yang paling sering digunakan adalah metode survei dengan menggunakan kuesioner. Namun cara ini cenderung dangkal, bersifat disipliner dan analisisnya bersifat partial, sehingga kurang bisa menggambarkan proses pengambilan keputusan. Keragaman antar petani maupun pengaruh stadia perkembangan rumah-tangga petani terhadap peubah-peubah (*variabel-variabel*) yang diteliti menjadi terabaikan. Lagi pula dengan menggunakan kuesioner, pewawancara akan cenderung untuk menggunakan pertanyaan yang bersifat menjebak untuk mengiyakan jawaban tertentu (*leading questions*). Dalam menjawab pertanyaan seringkali petani menjawab dengan apa yang seharusnya dilakukannya bukan apa yang betul-betul dilakukannya. Selain itu karena berpedoman pada kuesioner tertulis yang sudah disiapkan, sering menyebabkan wawancara menjadi kaku. Apabila petani kurang suka dengan cara ini, mereka akan hanya menjawab sekedarnya dan bukan yang sebenarnya dalam usaha memenuhi keinginan pewawancara.

Untuk mendiskripsikan betapa kompleks interaksi baik dalam sub-sistem usaha tani maupun antara sub-sistem usaha tani dengan sub-sistem lainnya sesuai dengan persepsi petani mau tidak mau harus mewawancarai mereka. Dari berbagai metode wawancara, tampaknya wawancara mendalam atau "*indepth interview*" berdimensi sejarah (*histories=time frames*), bersifat interdisipliner dan berwawasan pada proses pengambilan keputusan (*decision making process*) merupakan salah satu metoda penggalan data yang paling memadai. Wawancara mendalam adalah suatu bentuk wawancara yang hanya berpedoman pada beberapa topik pokok sebagai pedoman, dan masing-masing topik dikupas secara mendalam dengan mempertimbangkan interaksi antar topik. Sebagai pedoman kata tanya berikut dapat digunakan sebagai panduan untuk menggali informasi tentang sistem usahatani: siapa menanam apa, di mana, kapan, bagaimana, dan mengapa? Pendekatan tersebut diatas yang dipandu dengan kata tanya bantu tersebut di atas akan menyebabkan wawancara menjadi seperti "mengalir" sesuai perjalanan hidup petani, kita hanya mengarahkan ke topik pembicaraan sesuai daftar pertanyaan dan memancingnya jika pembicaraan berhenti, ataupun

meminta petani menjelaskan pada topik yang kita anggap penting untuk digali lebih mendalam.

Selain wawancara mendalam yang sangat tergantung dari jawaban petani, pewawancara harus memiliki gambaran yang lebih obyektif walaupun tidak lengkap yang diperoleh dari pengamatan atau observasi. Kedua metode ini dapat digunakan untuk saling melengkapi kekurangan masing-masing. Cara-cara konfirmasi suatu fakta atau pernyataan (*cross-checking*) sangat membantu untuk memperoleh gambaran yang lebih obyektif. *Focal-group discussion* atau diskusi kelompok yang terfokus juga membantu mendapatkan data yang lebih obyektif, karena konfirmasi lebih dari satu orang.

Sebetulnya tidak ada aturan yang baku tentang bagaimana wawancara yang baik, berikut hanya merupakan pedoman umum dalam melaksanakan wawancara dengan petani:

- Pilih saat yang tepat untuk wawancara, sebaiknya pada saat masa senggang responden.
- Sebelum wawancara awali dengan mengucapkan salam sesuai dengan kebiasaan setempat.
- Buka wawancara dengan memperkenalkan siapa anda dan terangkan maksud anda dengan bahasa yang sederhana tapi jelas. Utarakan bahwa maksud wawancara yang anda lakukan adalah dalam rangka proses belajar.
- Usahakan segera menciptakan suasana yang akrab, terbuka dan saling percaya di antara pewawancara dengan responden. Walaupun hal ini sulit tercipta pada pertemuan pertama, namun tidak ada salahnya bila dicoba. Salah satu cara yang bisa dilakukan adalah mencari topik pembukaan yang bisa menarik perhatian responden, misalnya dengan menanyakan obyek yang kelihatan atau kegiatan yang sedang dilaksanakan. Pembicaraan di lapangan seringkali lebih cepat dan mudah menciptakan suasana akrab dibanding di dalam ruang tamu yang cenderung formal.
- Dalam wawancara, pewawancara sebaiknya berperan sebagai seseorang yang ingin belajar dari responden, dengan menganggap responden yang paling tahu tentang usaha taninya, tetapi jangan sampai ada kesan bahwa pewawancara tidak tahu samasekali tentang topik yang sedang dibicarakan. Pembicaraan perlu diusahakan bersifat dua arah serta dalam suasana yang hidup.
- Pewawancara harus tanggap jika mungkin salah satu di antara pertanyaannya kurang berkenan dihati responden, dan segera mengambil tindakan dengan mengalihkan ke topik pembicaraan lain. Hati-hati dalam menformulasikan pertanyaan yang sensitif.
- Dalam wawancara, pewawancara harus mendengarkan segala yang diceritakan responden, meskipun sebetulnya informasi yang disampaikan tersebut tidak diperlukan oleh pewawancara. Jika

pembicaraan mulai sedikit menyimpang dari topik pembicaraan, usahakan dengan cara sopan dan halus untuk meluruskan kembali ke topik pembicaraan yang seharusnya.

- Hentikan wawancara jika responden sudah mulai kurang berkenan karena sudah mulai lelah, meskipun daftar pertanyaan belum selesai semuanya. Lebih baik melanjutkan wawancara di lain waktu dari pada harus memaksakan wawancara yang sudah mulai ngelantur.
- Sebelum mengakhiri wawancara lihat daftar pertanyaan (*check list*) apakah semuanya sudah dibicarakan.
- Akhiri wawancara dengan sopan, dan ucapkan terima kasih pada responden. Jika wawancara tidak cukup sekali saja, utarakan bahwa masih diperlukan wawancara berikutnya dan usahakan untuk membuat janji kapan wawancara berikut dilaksanakan.

Pemahaman petani tidak dapat dilakukan hanya dengan sekali bertemu saja, melainkan harus berkali-kali (Gambar 7.1). Apabila metode yang dilakukan hanya menggunakan kuesioner atau wawancara yang hanya sekali saja, maka hasil yang diperoleh hanyalah pengetahuan yang terbatas tentang petani. Oleh karena itu dalam perencanaan sudah harus diperhitungkan berapa lama penggalan data akan dilaksanakan. Biasanya untuk memberi gambaran umum yang lebih cepat dan menajamkan sasaran dan pertanyaan atau isu perlu dilakukan semacam pemahaman cepat (*rapid appraisal*). Pemahaman cepat merupakan survei dengan menggunakan kuesioner yang mencakup beberapa pertanyaan kunci untuk menjangkau sebanyak mungkin responden di daerah sasaran. Informasi yang diperoleh dapat dipakai untuk menyempurnakan rencana yang sudah dibuat sebelumnya.



Gambar 7.1 Usaha peneliti dalam memahami kebutuhan dan masalah-masalah yang dihadapi petani di lapangan. (Foto: Kurniatun Hairiah)

Dalam pelaksanaannya, pada wawancara pertama sebaiknya dibatasi pada hal-hal yang bersifat agak umum dan tidak sensitif. Sedangkan informasi yang lebih rinci dan agak sensitif bisa digali pada saat wawancara berikutnya, setelah

terbina hubungan yang lebih baik antara pewawancara dengan petani yang diwawancarai. Berbekal informasi dasar yang diperoleh pada wawancara sebelumnya, maka diharapkan wawancara berikutnya menjadi lebih mengarah. Pada saat kedatangan kita pertama kali, kita adalah orang asing sehingga kurang pantas untuk menanyakan hal-hal yang bersifat pribadi dan sensitif. Bagi banyak petani, usahataniya sering merupakan cerminan kisah perjalanan dalam mengarungi kehidupan rumah-tangganya. Dengan cara pandang seperti ini maka dimensi waktu, dinamika proses pengambilan keputusan, komponen sistem usahatani serta interaksinya yang terlibat dalam pengambilan keputusan akan tercermin pula.

7.3 Sifat dan karakter umum petani di Indonesia

Untuk membuat rencana melakukan pemahaman petani dengan baik, kita perlu mengetahui secara umum sifat dan karakter petani di wilayah tertentu atau di Indonesia pada umumnya. Berdasarkan pengalaman para penulis di Pakuan Ratu dan di beberapa daerah lainnya, berikut ini disampaikan secara ringkas beberapa sifat dan karakter petani yang penting tetapi jarang mendapat perhatian.

7.3.1 Bertani untuk memenuhi kebutuhan hidup

Usaha tani merupakan salah satu dari aktivitas petani dalam usaha memenuhi kebutuhan hidup keluarganya. Kebutuhan tersebut sebagian dapat dipenuhi dari hasil usaha taninya (*on-farm*) dan sebagian dari usaha lain (*non-farm*). Jadi, petani tidak hanya menjalankan usaha tani (*farming system*), akan tetapi juga menjalankan roda rumah-tangga (*household system*). Apa yang mereka butuhkan, apa yang dapat diproduksi sendiri dan apa yang harus dibeli akan sangat menentukan jenis usaha tani yang bagaimana yang akan diterapkan petani. Usaha tani yang ada merupakan cerminan penggunaan peluang dengan memperhatikan kendala dan hambatan yang ada sesuai dengan pengalaman mereka. Sebagaimana rumah-tangga dalam kelompok masyarakat yang lainnya, maka rumah tangga petani juga mempunyai jenis kebutuhan dasar yang sama seperti pangan, pakaian, perumahan, biaya untuk keperluan lain-lain (pendidikan, kesehatan, hiburan, dsb).

Adanya lebih dari satu kegiatan dalam rumah-tangga petani, mengakibatkan ada penekanan prioritas terhadap kegiatan tertentu. Ada berbagai usaha non-farm yang mungkin bisa memberikan sebagian dari kebutuhan petani, misalnya buruh tani, tenaga kerja di luar daerah atau di luar negeri, pedagang, sopir, dan sebagainya. Kegiatan non-farm ini seringkali justru menjadi yang utama dan mendasari berbagai keputusan termasuk dalam usaha tani. Konsekuensinya, kegiatan usaha tani tidak selalu menjadi prioritas utama dalam setiap rumah tangga petani.

Dalam memahami petani, perlu dilihat latar-belakang sejarah dan perkembangan rumah-tangganya. Banyak kejadian dan peristiwa di masa lampau berhasil mewarnai corak usahatani pada saat ini dan kejadian saat ini akan

memberikan corak usahatani mendatang. Pengalaman sejarah yang bersifat individual menyebabkan timbulnya keragaman di antara rumah-tangga petani.

7.3.2 Stadia perkembangan rumah-tangga

Sumber keragaman yang lain yang berpengaruh pada rumah-tangga adalah stadia perkembangan rumah-tangga yang pada gilirannya akan mempengaruhi proses pengambilan keputusan dalam rumah tangga tersebut. Stadia perkembangan rumah-tangga ini dapat dibedakan menjadi: a) stadia awal berumah-tangga (belum punya anak = *no child*), b) stadia melahirkan anak (*child-bearing*), c) stadia memelihara anak (*child-rearing*); d) stadia ditinggalkan anak (*child-leaving*); dan e) stadia tua (*old*). Stadia perkembangan rumah tangga akan sangat menentukan curahan tenaga kerja anggota keluarga, penggunaan dan jumlah serta komposisi sumberdaya, dan penyusunan skala prioritasnya.

Pada stadia awal berumah-tangga, pasangan ini umumnya masih ikut orang tuanya ataupun sudah berumah terpisah dengan cara mengerjakan usahatani bersama-sama dengan orang tuanya ataupun kalau sudah mendapatkan warisan lahan dan sudah dikerjakan sendiri, akan tetapi masih mendapatkan panduan dari orang tuanya. Beberapa tahun setelah stadia ini, rumah tangga akan memasuki stadia melahirkan anak. Saat memasuki stadia melahirkan anak, sumberdaya tenaga kerja umumnya masih terbatas pada pasangan suami-istri, akan tetapi kehadiran anak kecil (bayi) menyebabkan curahan tenaga kerja harus dibagi antara memelihara bayi dengan kegiatan produktif di usahatannya. Sedangkan pada stadia memelihara anak, beberapa anaknya yang sudah cukup umur merupakan sumber tenaga kerja tambahan. Pada stadia memelihara anak ini, umumnya sudah terjadi akumulasi sumberdaya lahan dan/atau modal. Kebutuhan pendapatan kontan akan meningkat berkaitan dengan semakin besarnya biaya untuk menyekolahkan anak. Berbeda dengan stadia perkembangan rumah-tangga sebelumnya, pada stadia ditinggalkan anak, maka secara perlahan sumberdaya tenaga kerja dalam rumah-tangga menjadi berkurang, kebutuhan pendapatan kontan diperlukan juga dalam jumlah yang cukup besar terutama untuk keperluan perkawinan anak-anaknya. Pada stadia ini sumberdaya lahan mulai ada yang diwariskan, dengan demikian selain berkurangnya tenaga kerja dalam rumah-tangga juga diikuti oleh berkurangnya luasan sumberdaya lahan. Stadia akhir perkembangan rumah tangga adalah stadia ditinggalkan anak, sumberdaya tenaga kerja menjadi terbatas. Selain sudah ditinggalkan anak-anaknya, karena usia suami dan istri sudah tua menyebabkan kekuatan fisik mereka terbatas. Menghadapi hal ini, biasanya petani sudah menyiapkan tanaman untuk hari tuanya, yang diistilahkan dengan "tanaman untuk pensiun", umumnya berupa tanaman tahunan yang dapat menghasilkan pendapatan secara kontinyu dan relatif tidak memerlukan tenaga kerja yang besar. Tergantung pada status ekonomi rumah tangga petani pada saat stadia ini, bila memungkinkan mereka juga dapat mengupahkannya pada tenaga kerja upahan. Pada kasus tertentu, beberapa rumah-tangga pada stadia ini ada yang mempertahankan salah satu anaknya yang

sudah berkeluarga untuk tinggal bersamanya, biasanya karena alasan kesehatan orang tua. Pada umumnya mereka itu adalah anak bungsunya atau mungkin di antara anak yang paling dicocokinya.

7.3.3 Penguasaan dan penggunaan lahan

Petani seringkali memiliki atau mengusahakan lebih dari satu persil lahan yang tidak jarang lokasinya berjauhan satu dengan yang lain. Untuk petani transmigran, pada awalnya diberi lahan yang jumlahnya sama, tetapi setelah beberapa tahun terjadilah perubahan pola penguasaan lahan. Terjadi jual-beli tanah di antara masyarakat setempat maupun dengan orang luar yang datang dan bermukim di situ. Walaupun kejadian ini tidak secepat di kota-kota besar, namun terus-menerus berlangsung sehingga terjadi perkembangan yang dinamis. Bagi petani yang berhasil, ada kecenderungan untuk menguasai lahan yang lebih baik, misalnya lahan sawah atau lahan tegal yang lokasinya strategis dan kesuburannya masih tinggi. Perubahan penguasaan lahan yang meliputi luas dan kualitas lahan oleh keluarga petani dapat mengakibatkan perubahan prioritas usaha tani dalam keluarga tersebut. Hal ini sangat penting diketahui dalam rangka penggalian informasi untuk memahami petani.

Berdasarkan peruntukan lahan utama di daerah Pakuan Ratu dapat dibedakan menjadi tanah sawah, tegalan, kebun, dan pekarangan. Hamparan tanah lain yang terlantar biasanya ditumbuhi alang-alang ataupun semak-semak. *Tanah sawah* terdapat di bagian lembah atau sepanjang sungai, umumnya ditanami padi sawah, gogo rancak atau gogo tergantung jumlah hujan pada saat musim tanam. Produktivitas tanah dan tenaga kerja usahatani sawah relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan tanah tegalan sehingga harga jual dan sewa tanah sawah jauh di atas tanah tegal. Bertanam padi di sawah menempati prioritas lebih tinggi dibanding di tegalan. *Tanah tegal* berupa dataran tadah hujan, umumnya ditanami palawija, tanaman pangan bukan padi. Karena tingkat kesuburan tanah sudah sangat menurun, umumnya diusahakan di tegalan adalah ubikayu. *Tanah pekarangan* adalah tanah disekitar rumah yang umumnya terletak di daerah pemukiman yang ditanami dengan campuran berbagai jenis tanaman semusim dan tahunan. Pekarangan umumnya juga digunakan untuk menanam jenis tanaman yang masih dalam taraf evaluasi sebelum ditanam dalam skala luas, karena kedekatannya dengan rumah memudahkan untuk pengamatannya. Sebelum mereka yakin pada tanaman yang diujicobakan bisa tumbuh baik dan layak diusahakan mereka umumnya akan mencobanya dalam skala kecil, ini dikenal dengan istilah adopsi bijaksana secara berjenjang (*small stepwise adoption*) berdasarkan percobaan kecil mandiri (*small experiment*).

Pemahaman terhadap petani harus juga didasarkan pada pengetahuan yang lengkap terhadap sumberdaya biofisik yang dikuasainya. Seringkali keputusan petani juga didasarkan pada pertimbangan-pertimbangan biofisik, seperti kualitas lahan (kesuburan tanah, ketersediaan air, dsb), luas lahan, jumlah plot atau petakan, lokasi dan kemudahan dijangkau, dan sebagainya. Oleh sebab itu

pengetahuan terhadap aset petani berupa lahan ini seringkali menjadi kunci dasar untuk bisa memahami petani secara utuh (holistik).

7.3.4 Pola tanam dan persepsi tentang pohon

Pola tanam yang ada disuatu lahan (plot = petak) petani yang ada sekarang ini sebetulnya merupakan stadia akhir dari rangkaian proses kemajuan evolusi bersama (*co-evolution*) antara kondisi rumahtangganya, perubahan kondisi masyarakat dan lingkungan hingga saat ini. Pola tanam ini sering merupakan cerminan proses eksploitasi peluang dengan mempertimbangkan benturan kendala serta keterbatasan yang terjadi pada kisaran kerangka waktu (time frame) tersebut. Dalam pemilihan beberapa pola tanam yang memungkinkan secara biofisik, mereka akan mempersempit jumlah pilihan pola tanam yang masih memungkinkan untuk diusahakan setelah mempertimbangkan kendala dan keterbatasan yang dihadapinya. Pada kasus tertentu karena keberagaman rumah-tangga petani, menyebabkan pilihan pola tanam berbeda walaupun kondisi lahannya sama. Pilihan tersebut sebetulnya merupakan hasil belajar dari pengalaman sendiri yang sangat ditentukan oleh pengalaman masa lalu, observasi dari pengalaman petani lain di sekitarnya, penyuluhan ataupun adanya program pembangunan yang menstimulir kegiatan tersebut. Pertimbangan curahan dan kelenturan (*flexibilitas*) penggunaan tenaga kerja, produktivitas tenaga kerja, produktivitas lahan, pengadaan sarana produksi, pemasaran hasil, pengaruh jangka panjangnya terhadap kesuburan tanah, investasi alang-alang, kerentanan terhadap bencana juga menjadi faktor penentu.

7.4 Penutup

Untuk memahami petani dengan benar maka kita harus memposisikan diri sebagai petani. Memahami petani merupakan suatu proses yang tidak dapat terjadi hanya dalam sekejap, perlu waktu yang cukup. Pemahaman terhadap petani memerlukan pendekatan sistem yang holistik berdimensi historis dan mengacu pada proses pengambilan keputusan. Pemahaman petani secara benar akan menentukan keberhasilan peneliti dalam menggali permasalahan mereka serta akan lebih mengarahkan pencarian solusi pemecahan permasalahan tersebut berdasarkan kendala dan hambatan yang mereka hadapi. Perlu disadari bahwa petani bersifat dinamis yang arah perkembangannya ditentukan oleh stadia perkembangan rumah-tangga, peluang, kendala dan keterbatasan yang mereka hadapi. Pemahaman yang lebih baik juga akan mampu memperbaiki jurang komunikasi antara peneliti dengan petani.

Sejak tahun 1980-an telah berkembang pesat apa yang dinamakan *pendekatan partisipatif*, di mana hampir semua kegiatan diharuskan melibatkan pihak terkait (*stake-holders*) termasuk petani dalam semua proyek pertanian. Oleh sebab itu setiap orang dikenalkan dengan berbagai metode pendekatan partisipatif atau *bottom-up*. Setiap orang yang pernah mengikuti penataran atau pelatihan tentang

hal ini biasanya sudah merasa bisa melakukan teknik-teknik pendekatan partisipatif dan mampu mendengar suara kalangan bawah dan mampu memahami petani. Namun kenyataannya, hal itu masih jauh dari harapan. Untuk memahami persepsi petani tidak cukup hanya dengan menguasai teknik pendekatan partisipatif saja, melainkan orang harus benar-benar memiliki hati-nurani dan kepekaan yang tinggi untuk ikut merasakan apa yang sebenarnya diungkap oleh petani melalui jawaban verbal, tindakan, perilaku dan berbagai indikasi lain yang tidak terucapkan. Oleh sebab itu uraian yang singkat ini diharapkan dapat melengkapi metode-metode pendekatan *bottom-up* atau partisipatif dalam menggali fakta maupun keinginan petani.

Lampiran

Lampiran 1. Curah Hujan Bulanan Tahun 1952-1999 di Kotabumi, Lampung Utara

Tahun	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nop	Des	Total
1952	382	345	546	183	272	58	112	50	135	135	417	348	2,983
1953	412	271	231	380	228	65	70	10	19	60	197	200	2,143
1954	228	273	263	456	327	155	82	75	186	169	297	297	2,808
1955	355	200	310	190	231	169	231	109	145	290	402	353	2,985
1956	275	354	335	294	258	163	48	121	273	210	298	248	2,877
1957	355	294	227	298	99	37	260	169	163	61	224	229	2,416
1958	257	358	305	464	35	55	108	66	57	181	463	371	2,720
1959	379	323	497	210	181	87	229	25	23	27	340	442	2,763
1960	350	351	304	189	91	84	94	209	197	53	374	313	2,609
1961	277	212	113	230	173	441	81	208	0	10	152	207	2,104
1962	259	142	306	212	141	138	198	176	101	378	291	347	2,689
1963	448	196	138	266	150	37	41	10	0	38	71	194	1,589
1964	295	195	300	206	150	30	140	147	110	155	271	476	2,475
1965	166	262	214	141	129	54	57	30	0	83	206	288	1,630
1966	544	202	295	406	73	55	57	44	65	164	256	343	2,504
1967	307	187	213	290	136	32	80	10	1	26	278	452	2,012
1968	401	239	307	323	214	209	165	224	77	290	261	411	3,121
1969	265	234	278	381	348	116	132	30	118	171	275	129	2,477
1970	338	448	590	317	185	73	20	111	77	134	64	201	2,558
1971	303	299	348	282	78	59	63	169	109	278	464	332	2,784
1972	390	203	298	112	152	39	2	41	6	2	118	147	1,510
1973	179	273	173	89	259	151	0	126	162	271	161	332	2,176
1974	200	473	240	280	110	59	51	60	202	99	469	217	2,460
1975	368	296	328	222	155	62	148	146	185	288	181	308	2,687
1976	277	324	344	394	174	11	74	258	12	271	354	340	2,833
1977	315	288	338	230	208	199	168	47	154	9	69	385	2,410
1978	194	417	216	240	129	127	206	153	241	174	255	614	2,966
1979	393	415	158	192	385	148	310	78	263	166	276	530	3,314
1980	314	290	288	212	140	132	226	126	206	125	424	728	3,211
1981	412	398	368	327	255	96	232	93	344	208	397	239	3,369
1982	337	200	138	298	315	107	13	0	77	0	5	744	2,234
1983	697	302	459	483	200	74	135	59	69	288	152	175	3,093
1984	172	445	365	238	269	116	150	96	261	150	102	323	2,687
1985	462	174	239	161	54	79	115	98	96	200	202	331	2,211
1986	351	346	461	301	423	113	134	28	270	294	251	402	3,374
1987	160	487	439	259	203	73	25	16	68	75	119	352	2,276
1988	250	225	340	275	150	125	40	10	100	180	200	300	2,195
1989	511	557	284	112	97	134	73	51	75	124	247	310	2,575
1990	270	259	408	165	79	40	49	66	78	88	104	359	1,965

Lampiran

Tahun	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nop	Des	Total
1991	433	273	337	176	287	23	8	0	14	79	286	304	2,220
1992	392	225	360	227	104	25	250	96	67	40	363	411	2,560
1993	363	203	223	180	282	150	145	140	99	101	167	271	2,324
1994	397	464	345	436	199	13	0	0	2	21	105	162	2,144
1995	571	275	649	266	234	104	272	32	207	128	150	269	3,157
1996	315	132	243	138	164	40	84	175	122	45	252	170	1,880
1997	277	192	315	300	175	0	5	3	0	5	14	301	1,587
1998	231	576	546	238	363	217	204	116	107	184	328	275	3,385
1999	424	186	240	129	136	39	184	77	56	196	247	412	2,326
Rata²	339	298	318	258	192	96	116	87	112	140	242	331	2,529
Minim	160	132	113	89	35	0	0	0	0	0	5	129	1,510
Maksi	697	576	649	483	423	441	310	258	344	378	469	744	3,385
SD	108	106	115	96	89	74	82	67	87	96	119	130	484
CV	0.32	0.36	0.36	0.37	0.46	0.77	0.71	0.77	0.77	0.69	0.49	0.39	0.19

Lampiran 2. Deskripsi Profil Tanah di Karta (van der Heide *et.al.*, 1992)

Horison	Kedalaman (cm)	Karakteristik
1	00 – 05	Kelabu tua kemerahan (5 YR 4/2) lembab, kelabu (5 YR 5/1) sampai kelabu kemerahan (5 YR 5/2) kering; pasir berlempung halus; agak lekat, agak plastik, sangat gembur (lembab), agak keras (kering); pori halus sampai kasar banyak, acak, tidak kontinyu; akar halus-kasar sangat banyak; pH = 4,9 ; batas horison nyata beralih ke,
2	05 - 30	Coklat kemerahan (5 YR 5/3) lembab, pink (5YR 7/3) kering; pasir berlempung; lekat, plastik, gembur (lembab), agak keras (kering); pori halus-sedang, banyak, tidak kontinyu, acak; akar sangat kasar, sedang; pH 4.6; batas berangsur ke
3	30 - 45	Coklat muda kekuningan (10 YR 6/4) lembab, coklat sangat pucat (10YR 7/3) kering; pasir berlempung; lekat, plastik, gembur (lembab), agak keras (kering); pori halus, banyak, tidak kontinyu, acak; akar sangat kasar; sangat sedikit; pH 4.7; batas baur ke
4	45 - 66	Coklat muda kekuningan (10 YR 6/4) lembab, putih kemerahan (7.5YR 8/2) ke kelabu pucat (10YR 7/2) kering; pasir berlempung; sangat lekat, plastik, gembur (lembab), agak keras (kering); pori halus-sedang, banyak, tidak kontinyu, acak; akar sangat kasar; sangat sedikit; pH 4.7; batas baur ke
5	66 - 89	Kuning kemerahan (7.5 YR 6/6) lembab, kelabu kemerahan (7.5YR 6/2) kering; pasir halus berlempung; sangat lekat, plastik, sangat gembur (lembab), agak keras (kering); pori halus, banyak, tidak kontinyu, acak; pH 4.8; batas baur ke
6	89 – 110	Coklat muda kekuningan (10 YR 6/4) lembab, kelabu kemerahan (7.5YR 6/2) ke kelabu pucat (10YR 7/2) kering; pasir berlempung; sangat lekat, plastik, sangat gembur (lembab), agak keras (kering); Karatan merah terang (7/5R 4/8) ke merah gelap (7.5R 3/8) lembab, ukuran sedang-kasar, cukup, sangat jelas; pH 4.9; batas baur ke
7	110 +	Coklat muda (7.5YR 6/4) lembab, putih (10YR 8/2) kering; lempung berpasir ke pasir berlempung; sangat lekat, plastik, sangat gembur (lembab), agak keras (kering); Karatan merah terang (7/5R 4/8) ke merah gelap (7.5R 3/8) lembab, ukuran sedang-kasar, banyak, sangat jelas; pH 4.8.



Lampiran 3.1 Contoh sebaran akar buah-buahan seperti jambu air (atas), nangka (tengah) dan sirsak (bawah), selain memiliki akar yang menyebar horisontal dipermukaan tanah pepohonan ini juga memiliki akar yang menyebar vertikal ke bawah. Dengan demikian cukup tahan kekeringan (Foto: Pratiknyo Purnomosidhi)



A



B



C



D



Lampiran 3.2 Contoh sebaran akar pohon legume, gamal (A), kaliandra (B), petai (C) dan petaian (D). Akar gamal dan kaliandra menyebar intensif di permukaan, sedang akar petai dan petaian memiliki sebaran akar yang lebih dalam (Photo: Pratiknyo Purnomosidhi)

Kamus kecil (*Glossary*)

Adsorpsi atau **jerapan** (*adsorption*)

Proses penjerapan atom, molekul atau ion pada permukaan mineral liat baik secara fisik maupun kimia.

Agroforestri atau **Wanatani**

Arti sederhananya adalah menanam pepohonan di lahan pertanian. Dibedakan menjadi dua sistem, yaitu sistem **agroforestri sederhana** dan sistem **agroforestri kompleks**.

Agroforestri kompleks

Suatu sistem pertanian menetap yang terdiri dari banyak jenis tanaman (berbasis pohon) yang ditanam dan dirawat oleh penduduk lokal, dengan pola tanam dan ekosistem menyerupai dengan yang dijumpai di hutan.

Agroforestri sederhana

Campuran kegiatan pertanian dan kehutanan dalam satu tapak, yaitu perpaduan sistem konvensional yang terdiri atas sejumlah kecil unsur. Biasanya perhatian terhadap perpaduan tanaman itu menyempit menjadi satu unsur pohon yang memiliki nilai ekonomi penting (seperti *kelapa, karet, cengkeh, jati*, dll.) atau yang memiliki nilai ekonomi kecil (seperti *dadap, lamtoro*), dan sebuah komponen tanaman musiman (misalnya *padi, jagung, sayur-mayur, rerumputan*), atau jenis tanaman lain seperti *pisang, kopi, coklat* dan sebagainya yang juga memiliki nilai ekonomi.

Bahan organik

Sisa tanaman, hewan, manusia yang belum terlapuk baik yang berada di atas permukaan maupun di dalam tanah.

Bahan Organik Tanah (BOT)

Fraksi organik dari tanah yang terdiri dari sisa tanaman, hewan, manusia yang telah sebagian atau sepenuhnya terlapuk, mikrobial serta asam-asam humik. Biasanya ditetapkan dengan mengukur kandungan karbon pada partikel tanah yang berukuran < 2 mm. Satuan pengukurannya adalah massa yaitu kg atau g. Seringkali dinyatakan dalam perbandingan antara massa BOT dengan padatan tanah yakni g bahan organik dalam satu g tanah (g g^{-1}) atau sering dinyatakan sebagai prosentase massa (%).

Bera atau **Bero** (*fallow*)

Periode "*istirahat*" lahan yang diusahakan, artinya suatu lahan yang diusahakan selama waktu tertentu kemudian tidak diusahakan lagi untuk *sementara waktu* dengan tujuan untuk:

- Perbaikan kesuburan fisik, kimiawi, dan biologi tanah yang diperlukan pada periode tanam berikutnya.
- Penghasil produk-produk tertentu penambah pendapatan petani misalnya pakan ternak, kayu bakar, obat-obatan, madu dan sebagainya.

Berat Isi Tanah (*bulk density*)

Perbandingan antara massa tanah kering (padatan tanah) per volume tanah termasuk pori tanah dinyatakan dalam satuan g padatan per 1 cm^3 tanah (g cm^{-3}). Berat isi tanah tergantung dari struktur tanah dan faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan struktur misalnya tekstur, bahan organik, pengolahan tanah dsb serta bervariasi dengan kandungan air tanah. Kisaran nilai Berat Isi lapisan atas tanah-tanah pertanian di Indonesia antara $1,1 - 1,2 \text{ g cm}^{-3}$.

Berat Jenis Tanah (*particle density*)

Perbandingan massa tanah kering (padatan) per volume padatan tanah, dinyatakan dalam g padatan tanah per 1 cm³ padatan itu (g cm⁻³). Berat jenis tanah bervariasi dengan kandungan bahan organik tanah dan jenis mineral tanah. Kisaran nilai berat jenis tanah mineral antara 2,5 – 2,6 g cm⁻³, sementara tanah-tanah organik lebih rendah.

Biological ameliorant

Substansi yang dapat mengurangi atau bahkan memperbaiki kondisi yang kurang menguntungkan menjadi menguntungkan bagi tanaman. Misalnya penambahan bahan organik dapat menetralkan unsur-beracun seperti Al menjadi tidak beracun melalui pengkkelatan oleh asam-asam organik yang dilepas ke dalam larutan tanah selama proses mineralisasi.

Biomasa (*Biomass*)

Masa yang dihasilkan oleh organisme hidup ataupun sekelompok organisme, yang umumnya berasal dari tanaman ataupun hewan.

Budidaya Lorong (*alley cropping*) atau **Budidaya Pagar** (*hedgerow intercropping*)

Sistem bercocok tanam dengan menanam pepohonan berbaris sebagai pagar diantara tanaman semusim. Tajuk tanaman pagar dipangkas secara rutin bila telah mulai menaungi tanaman semusim dan semua hasil pangkasan dikembalikan ke dalam lahan sebagai mulsa atau ditanamkan, kecuali cabang yang garis-tengahnya lebih dari 5 cm diangkat keluar lahan. Usaha pengembalian pangkasan ke dalam petak lahan ini sebenarnya mendekati pola “*siklus hara tertutup*” di hutan yang ditujukan untuk mempertahankan kesuburan tanah.

By-pass flow (aliran singkat/cepat)

Aliran air ke atau dalam tanah yang tidak melewati pori-pori tanah sebagaimana yang biasa terjadi, tetapi melalui lubang besar, retakan tanah dan liang besar bekas akar pohon yang telah mati, liang biota dan sebagainya.

Cadangan total bahan organik tanah (*capital store C*)

Cadangan C yang tersimpan dalam tanah dalam berbagai 'pool' BOT (Aktif dan pasif).

Dekade = **Dasarian** (sepuluh-harian)

Periode sepuluh harian, dipakai untuk menjumlahkan hujan harian yang digunakan sebagai salah satu dasar analisis hujan. Satu tahun dibagi menjadi 36 dekade.

Dekomposisi

Proses penguraian senyawa kompleks dalam bahan organik menjadi bentuk yang lebih sederhana sebagai akibat dari aktivitas biota yang berinteraksi dengan faktor lingkungan dan kualitas bahan.

Checklist

Daftar judul topik pertanyaan yang digunakan sebagai pedoman (*guide*) di dalam sebuah survei formal

Dosis pupuk

Jumlah pupuk yang diberikan yang dinyatakan dengan massa (berat) pupuk atau unsur pupuk per jumlah tanaman atau luasan tanam. Contoh: dosis pupuk urea: 100 kg N ha⁻¹ atau 250 kg Urea ha⁻¹ atau 10 mg N per tanaman.

Drainasi

Proses aliran air tanah dari suatu lapisan ke luar lapisan tersebut, bisa secara lateral atau vertikal. Istilah drainasi digunakan untuk menunjukkan upaya mengeringkan tanah (pematusan). Bandingkan dengan **perkolasi**.

Emisi gas rumah kaca

Pelepasan gas-gas seperti karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄) dan nitrous oksida (N₂O) ke atmosfer yang jumlahnya lebih besar dari pada kapasitas penyerapan oleh ekosistem terestrial (vegetasi dan tanah) dan lautan sehingga diramalkan dapat meningkatkan suhu di bumi.

Entisols

Berasal dari kata *recent* (*baru saja*) dan *sols* (*solum, tanah*), yaitu tanah yang baru saja dibentuk, sehingga tidak memiliki horison genetik alamiah atau belum berkembang. Ciri umum Entisol ialah tidak adanya perkembangan profil yang nyata. Karena masih 'muda', sifatnya sangat dipengaruhi oleh bahan induk darimana tanah tersebut terbentuk. Entisol adalah nama tanah pada tingkat Ordo, dan masih dibagi ke dalam tingkat klasifikasi yang lebih detail. Misalnya *Udifluvent* (tanah Entisol, yang sifatnya dipengaruhi oleh aliran air/fluviial, serta hampir selalu lembab sepanjang tahun), atau *Hydraquent* (tanah Entisol, yang menunjukkan kondisi aquik karena pengaruh air tergenang, serta mengandung air lebih banyak dibandingkan masa padatnya).

Erosi

Proses terangkutnya partikel tanah oleh aliran air atau angin dan diendapkan ke tempat lainnya.

Evaporasi potensial

Jumlah maksimum kehilangan air dalam bentuk uap dari permukaan tanah, yakni pada saat permukaan tanah berlimpah air. Besarnya penguapan ini ditentukan oleh keadaan atmosfer (*tekanan uap air, suhu udara, radiasi, angin*).

Focal-group discussion (diskusi kelompok yang terpusat)

Suatu metode untuk menggali informasi dengan cara mengumpulkan kelompok sasaran dalam suatu forum diskusi dan membiarkan mereka membahas suatu topik yang ingin diketahui, sementara peneliti merekam semua hal yang terjadi dalam diskusi tersebut.

Humus

Fraksi bahan organik tanah, yang terbentuk selama proses dekomposisi bahan organik atau substansi lain mengandung asam humik dan fulfik. Substansi ini berwarna gelap dan sangat lambat lapuk.

Hutan yang tersisa (*gallery forest*)

Hutan yang masih ada (tersisa) yang terbentuk setelah konversi hutan menjadi lahan pertanian. Hutan ini biasanya terbentuk secara alami di sepanjang lembah sungai, sekitar mata air, sedangkan di bagian atas (bukit) sudah tidak ada lagi.

Iklim mikro

Iklim setempat yang sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan lokal misalnya topografi, tanah, dan vegetasi yang tumbuh di atasnya.

Imobilisasi

Perubahan bentuk ion anorganik menjadi senyawa organik melalui suatu proses yang dilakukan oleh mikroorganisme tanah atau tanaman

Inceptisols

Berasal dari kata *inceptum* (permulaan) dan *sols* (*solum, tanah*), yaitu tanah yang relatif muda, pada awal pembentukan tanah, sehingga sudah ada perkembangan profil (lebih maju dibandingkan Entisol) namun masih lemah. Horison-horison pada tanah ini tidak memperlihatkan hasil hancuran yang ekstrim, dan tanpa timbunan liat, besi atau aluminium.

Inceptisol adalah nama ordo tanah, yang dibagi lagi ke dalam klasifikasi yang lebih detail. Misalnya *Dystrudept* (tanah Inceptisol, yang hampir selalu lembab sepanjang tahun, dan mempunyai kejenuhan basa yang rendah).

Indeks Panen N (*N-Harvest Index*)

Presentasi jumlah N pada organ tanaman yang dipanen (bagian yang diangkat keluar lahan) terhadap jumlah total N yang terdapat pada seluruh tanaman.

Indepth-interview (wawancara mendalam)

Suatu metode untuk menggali informasi dengan cara melakukan wawancara dengan beberapa orang yang dianggap mengetahui permasalahan (tokoh kunci = *key informants*) di mana penggalian materi dilakukan secara terbuka dan bebas tidak dibatasi oleh waktu dan umumnya tidak menggunakan daftar pertanyaan (kuesioner terstruktur) melainkan cukup dengan daftar topik (*check list*) yang dikembangkan sendiri oleh pewawancara selama berlangsungnya proses wawancara.

Interdisiplin

Diaplikasikan bagi sebuah tim yang terdiri dari beberapa disiplin yang anggotanya bekerja sama pada sebuah masalah dalam kerangka pemikiran (konsep) tertentu yang diharapkan menembus batas disiplin masing-masing.

Informan kunci (*key informant*)

Seseorang yang gampang terjangkau, tidak berkeberatan untuk berbicara, serta mempunyai pengetahuan yang memadai tentang beberapa aspek tentang kondisi lokal.

Jaring penyelamat hara

Sistem perakaran tanaman yang berkembang dalam dan intensif di lapisan bawah, yang menyebar di bawah akar tanaman lainnya dalam sistem tumpang sari. Perakaran tanaman tersebut berfungsi sebagai jaring hara yang hilang tercuci ke lapisan yang lebih dalam (tidak dapat diserap oleh tanaman berperakaran dangkal) dan mengangkatnya ke lapisan atas melalui mineralisasi daun-daunnya yang gugur.

Contoh: Akar petaian (*Peltophorum dasyrhachis*) yang menyebar di bawah akar jagung dalam sistem tumpang sari.

Kadar air tersedia

Sebagian air dalam tanah yang dapat diserap oleh akar tanaman, dibedakan dari bagian lain yang tidak dapat diserap karena terikat sangat kuat oleh partikel padat tanah.

Kadar air tanah dinyatakan dengan perbandingan (massa atau volume) antara jumlah air tersebut dengan jumlah tanah, misalnya:

- Kadar air volume: volume air (m^3) dalam satu m^3 tanah [misalnya $0,2 m^3 m^{-3}$].
- Kadar air massa: massa air (kg) dalam satu kg padatan tanah [$0,2 kg kg^{-1}$].
- Dapat juga dinyatakan dalam perbandingan atau % (volume dan massa).

Kaolinit

Mineral alumino silikat 1:1 (setiap unit kristal terdiri dari 1 lempeng alumina dan 1 lempeng silika). Susunan kristalnya menyebabkan mineral ini mempunyai daya kohesi, plastisitas, kapasitas memuai, serta kapasitas tukar kation yang rendah.

Kapasitas menahan air tersedia

Kemampuan maksimum tanah untuk menahan air yang dapat diserap tanaman, yang ditentukan oleh jumlah ruang pori dan kekuatan ikatan air dengan padatan tanah (lihat juga **Kadar Air Tersedia**).

Kapasitas Tukar Kation (KTK)

Jumlah maksimum kation yang terdapat pada kompleks pertukaran mineral liat dan substansi humus. Nilai KTK terkait dengan jumlah muatan negatif pada permukaan liat, baik organik maupun anorganik. Satuannya adalah cmol kg⁻¹ tanah (semula dinyatakan me/100 g).

Kapasitas Tukar Kation Efektif – KTKE (*Effective Cation exchange capacity*)

KTK yang diukur dengan menjumlahkan semua kation yang dapat ditukar, baik kation 'basa' (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺) maupun kation 'masam' (Al³⁺ dan H⁺). Nilai KTKE ini digunakan terutama pada tanah yang kompleks pertukarannya tidak dijenuhi oleh basa, dan/atau tanah-tanah yang mempunyai nilai KTK tergantung pH. Satuannya adalah cmol kg⁻¹ tanah (semula dinyatakan me/100 g).

Kapital Nitrogen

Jumlah netto N yang kembali ke dalam tanah dan tersedia bagi tanaman yang tumbuh berikutnya.

Keanekaragaman hayati (biodiversity = Biological Diversity)

Aneka ragam kehidupan di bumi ini, termasuk di dalamnya semua binatang, tanaman dan organisme tanah yang sangat mempengaruhi ekosistem baik pada tingkat plot, bentang lahan maupun global.

Kegiatan di luar usaha tani (off-farm)

Suatu kegiatan usaha oleh petani untuk memperoleh tambahan pendapatan dari luar usaha taninya sendiri, bisa dari sektor pertanian (misalnya menjadi buruh tani pada petani lain) maupun non-pertanian (misalnya menjadi buruh bangunan)

Kegiatan di luar sektor pertanian (non-farm)

Suatu kegiatan usaha oleh petani untuk memperoleh tambahan pendapatan dari usaha lain yang tidak berhubungan dengan pertanian (misalnya kegiatan perdagangan, pertambangan, jasa, konstruksi, dsb)

Kegiatan usahatani (on-farm)

Semua kegiatan usaha untuk memperoleh pendapatan atau tambahan pendapatan dari bidang pertanian yang meliputi kegiatan bercocok tanam, beternak dan memelihara ikan.

Kejenuhan Al

Merupakan proporsi (%) dari kompleks pertukaran liat yang diduduki oleh Al-dapat dipertukar. Kejenuhan Al (%) = (Al_{dapat dipertukar} / KTKE) x 100

Kejenuhan Bahan Organik Tanah (C_{org}/C_{ref} , *C-saturation deficit*)

Nisbah antara kandungan total bahan organik tanah (C_{org}) pada kondisi saat pengamatan dengan kandungan bahan organik tanah di bawah tegakan hutan (C_{ref}) yang memiliki tekstur tanah dan iklim yang sama. Nilai ini dipergunakan untuk mengestimasi penurunan kandungan bahan organik tanah saat ini bila dibandingkan dengan kondisi semula (hutan).

$$C_{ref} = (Z_s/12.5)^{-0.58} \exp(1.333 + 0.00994 * \text{Liat \%} + 0.00699 * \text{debu \%} - 0.156 * \text{pH-KCl})$$

Z_s = kedalaman contoh tanah yang diambil, cm

Nilai nisbah (C_{org}/C_{ref}) yang diperoleh berkisar antara 0 – 1. Semakin rendah (mendekati nol) nilai nisbah C_{org}/C_{ref} suatu tanah maka tanah tersebut semakin 'tidak subur'. Bila nilai C_{org}/C_{ref} mendekati nilai 1, maka tanah tersebut diklasifikasikan 'subur'. Tanah pada lahan hutan yang baru saja dibuka mempunyai nilai nisbah 1.

Kompetisi: Cahaya, Air dan Hara

Kebutuhan untuk memperoleh sumberdaya yang sama (cahaya, unsur hara dan air) oleh beberapa jenis tanaman yang ditanam berdekatan, menyebabkan timbulnya persaingan diantara tanaman-tanaman itu bilamana tersedianya sumberdaya itu terbatas

Kompos

Pupuk yang berasal dari hasil proses dekomposisi residu dari tanaman ataupun hewan.

Krokos = Laterit

Konkresi besi atau aluminium, yang terbentuk dari hasil konsentrasi dan sementasi senyawa hidro-oksida atau oksida besi atau aluminium.

Leguminosa (*Legume*)

Tanaman berbunga kupu-kupu (dan biasanya memiliki bintil akar) dapat mengikat N langsung dari udara melalui simbiosis dengan bakteri rhizobia.

Limpasan permukaan

Air yang mengalir di atas permukaan tanah akibat sebagian air hujan yang deras tidak dapat masuk ke dalam tanah melalui proses infiltrasi

LUDOX

Suspensi silikat yang diproduksi oleh Du Pont TM 50, dipergunakan untuk memisahkan bahan organik dengan mineral tanah berdasarkan berat jenis partikel. Ludox memiliki BJ sekitar 1.4 g cm⁻³.

Pupuk Hijau (*Green Manure*)

Biomasa tanaman yang masih hijau yang digunakan sebagai pupuk.

Mineralisasi

= konversi elemen organik menjadi inorganik sebagai hasil dari pelapukan yang dilakukan oleh mikrobia.

Monmorilonit

Mineral liat silikat tipe 2:1 (setiap unit kristal terdiri dari 2 lempeng silika dan 1 lempeng alumina). Susunan dalam kristal menyebabkan sifat mengembang-mengerut yang besar. Sifat ini sangat menonjol pada tanah *Vertisol* (sebelumnya dinamakan *Grumusol*), yang biasanya retak-retak di musim kemarau.

Neraca air

Kesetimbangan antara jumlah air yang masuk (melalui infiltrasi dari curah hujan dan irigasi) dan air yang keluar (melalui penguapan, serapan tanaman dan perkolasi) pada lapisan tanah bagian atas atau lapisan perakaran.

Oxisols

Berasal dari kata *oxic* (oksida) dan *sols* (solum, tanah), yaitu tanah-tanah yang didominasi oleh oksida besi dan aluminium. Mineral-mineral ini merupakan produk akhir pelapukan yang sangat intensif, misalnya pada daerah dengan suhu dan curah hujan yang tinggi (tropik basah). Pengaruh oksida besi tercermin dari warna tanah yang kemerahan. Oxisol adalah nama tanah pada tingkat Ordo, dan diklasifikasikan ke tingkat yang lebih tinggi, misalnya *Hapludox* yaitu Oxisols, yang selalu lembab sepanjang tahun.

Pencucian (*leaching*)

Perpindahan unsur hara dari lapisan perakaran ke lapisan yang lebih dalam karena terbawa oleh aliran air hujan yang memasuki pori-pori tanah akibat gaya gravitasi.

Pendekatan sistem

Metode ilmiah yang mencoba mengurai kerumitan suatu sistem melalui telaah kesaling-berhubungan dan kesaling-tergantungan diantara komponen penyusun sistem tersebut

Penepian

Suatu bentuk lahan yang pada awalnya berupa dataran tinggi yang telah mengalami proses pengikisan (erosi) dalam waktu lama sehingga terbentuk perbukitan yang sangat banyak pada hamparan yang luas dengan tinggi puncak yang hampir sama.

Penggunaan lahan

Segala macam upaya dan cara pemanfaatan lahan, misalnya bercocok tanam berbagai jenis tanaman, peternakan, perikanan, industri, pemukiman, dan sebagainya.

Penguasaan lahan (*land-ownership*)

Menunjukkan status hubungan antara seseorang (masyarakat) dengan lahan yang diakui secara sah menurut hukum yang berlaku. Contoh-contoh status penguasaan lahan: hak milik, hak pakai, hak sewa, dan sebagainya.

Pentade (lima-harian)

Lamanya periode hujan (lima hari) untuk menjumlahkan hujan harian yang digunakan sebagai dasar analisis hujan. Satu tahun dibagi menjadi 72 pentade.

Penyangga hara = *buffer*

= kemampuan tanah dalam menggantikan hara yang hilang baik melalui reaksi kimia pencucian, serapan oleh tanaman, maupun penguapan.

Perkolasi

Aliran air dari lapisan tanah atas ke lapisan di bawahnya disebabkan pengaruh gaya gravitasi (lihat juga *Drainasi*)

Pertanian berkelanjutan (*lestari = sustainable agriculture system*)

Manajemen sumberdaya pertanian untuk memenuhi kebutuhan manusia (yang selalu berubah) dengan cara tetap mempertahankan atau bahkan memperbaiki kualitas lingkungan dan menerapkan konservasi sumberdaya alam.

Pertanian tradisional

Sistem usahatani berdasarkan pengetahuan dan cara-cara bertani setempat yang telah diterapkan dan teruji beberapa generasi.

pH-tanah

Konsentrasi ion H^+ dalam larutan tanah yaitu: $pH \text{ tanah} = -\log [H^+]$. Nilainya berkisar 2 - 10. Bila $pH \text{ tanah} < 5.0$ dikatakan masam, nilai $pH \text{ } 5.0 - 7.0 = \text{netral}$; $pH > 7.0 = \text{basa}$ atau alkali (lihat *Reaksi Tanah*)

Pohon pelindung (*Nurse tree*)

Adalah jenis pohon yang bisa membantu dan melindungi anakan pohon alami spesies lainnya, misalnya dengan memberi naungan, perbaikan kesuburan tanah. Sebagai contoh menambah ketersediaan N oleh tanaman penambat N (*Leguminosa*).

Porositas tanah

Proporsi atau perbandingan ruang pori tanah dalam suatu volume tanah. Bila tanah mempunyai ruang pori banyak dikatakan tanah porous, tetapi bila ruang porinya sedikit dikatakan tanah mampat atau padat. Porositas dinyatakan dengan perbandingan volume

ruangan pori (m^3) dalam satu satuan volume tanah ($1 m^3$), misalnya $0,42 m^3 m^3$ atau dinyatakan dalam persen volume, misalnya 42 % (volume).

Produksi aktual

Jumlah panen dari seluruh biomassa tanaman atau bagian-bagian tanaman yang bernilai ekonomis yang dihasilkan oleh suatu usaha tani, dinyatakan dengan satuan massa per luasan atau per individu tanaman, misalnya 10 ton ha^{-1} atau 10 kg per tanaman.

Produksi potensial

Jumlah panen (seluruh biomassa atau bagian-bagian tanaman) yang seharusnya dapat diproduksi oleh suatu usaha tani apabila semua kebutuhan tanaman dapat dipenuhi secara optimum.

Pupuk hijau

Pupuk yang diperoleh dari serasah, sisa panen maupun hasil pangkasan tanaman yang diberikan ke dalam tanah untuk mempertahankan kesuburan tanah.

Reaksi tanah

Tingkat kemasaman tanah yang biasanya dinyatakan dengan nilai pH (lihat **pH Tanah**)

Rhizosphere

Daerah di sekitar akar (2-3 mm dari permukaan akar) yang kondisinya dipengaruhi oleh aktifitas akar.

Serapan Hara

Jumlah unsur hara yang diserap oleh tanaman melalui akar dan disimpan dalam tubuh tanaman (daun, batang, akar, dan organ yang lain). Serapan unsur dinyatakan dalam satuan massa (misalnya 10 g Nitrogen) atau dinyatakan dalam perbandingan antara massa unsur dengan massa tanaman (misalnya 10 g N per kg).

Simbiosis

Hidup bersama yang saling menguntungkan antara dua jenis organisme yang berlainan.

Simulasi Model CENTURY

Model simulasi yang umum digunakan untuk mempelajari hubungan antara tanaman – tanah, terutama ditekankan pada dinamika C dan hara lainnya pada berbagai macam ekosistem (hutan, lahan pertanian, padang penggembalaan dsb).

Stadia perkembangan rumah tangga

Urut-urutan perkembangan sebuah rumah tangga yang umum di Indonesia dimulai dari saat terbentuknya rumah tangga tersebut yaitu saat pernikahan sampai pasangan yang sudah tua. Banyak penelitian menyebutkan bahwa perkembangan ini berhubungan erat sekali dengan pertimbangan pengambilan keputusan dari keluarga yang bersangkutan. Stadia perkembangan rumah tangga dibagi menjadi:

stadia awal berumah-tangga (belum punya anak = no child)

a) stadia ditinggalkan anak (child-leaving)

b) stadia melahirkan anak (child-bearing)

c) stadia memelihara anak (child-rearing)

d) stadia tua (old)

Struktur tanah

Penggumpalan (agregasi) partikel padat tanah menjadi partikel sekunder (agregat) dengan aneka bentuk, ukuran dan kemantapannya. Diantara agregat itu terbentuk pula rongga-rongga

yang disebut ruangan pori. Struktur tanah berguna untuk menyatakan aerasi dan keremahan tanah.

Survei formal (*formal survey*)

Survei yang berdasarkan kuesener dari sejumlah responden yang mewakili suatu populasi tertentu, yang nantinya akan ditarik suatu kesimpulan berdasarkan perhitungan statistik.

Sustainability (**keberlanjutan – lestari**)

Kemampuan suatu sistem untuk mempertahankan produktifitas dalam jangka waktu yang lama jika mengalami gangguan ataupun bencana (stress and shocks).

Tanaman Legume penutup tanah (**Legume Cover Crops = LCC**)

Tanaman semusim jenis legume (penambat nitrogen) yang ditanam (sebar) untuk menciptakan iklim-mikro (micro-climate) tanah yang lebih baik (favourable), mengurangi evaporasi dan melindungi tanah dari erosi. Tanaman penutup tanah juga menghasilkan biomasa yang dapat digunakan untuk mengelola kesuburan tanah.

Tekstur tanah

Sifat lekat atau lepas dan berat atau ringannya tanah yang dapat dirasakan apabila tanah tersebut diolah. Tekstur tanah ini sangat dipengaruhi oleh komposisi ukuran dari partikel-partikel yang menyusun tanah tersebut. Oleh karena itu tekstur tanah dapat ditentukan secara kuantitatif dengan menyatakan perbandingan massa partikel yang berukuran halus (liat), sedang (debu) dan kasar (pasir) yang menyusun tanah tersebut.

Total panjang akar (**Lrv , root length density per soil volume**)

Total panjang seluruh akar per satuan volume tanah, biasanya dinyatakan dengan cm cm^{-3} tanah atau m cm^{-3} tanah.

Tumpang gilir

Menanam dua (atau lebih) species tanaman baik semusim maupun tahunan pada lahan yang sama tetapi pada waktu yang berurutan. Misalnya Jagung ditanam pada musim tanam (MT) I diikuti oleh kedelai pada MT II.

Tumpangsari

Menanam dua (atau lebih) species tanaman baik semusim maupun tahunan pada waktu dan lahan yang sama.

Ultisols

Berasal dari kata *ultimus* (akhir) dan *sols* (solum, tanah), yaitu tanah-tanah yang telah mengalami **pencucian** intensif. Kandungan liat meningkat di lapisan bawah. Karena proses pencucian yang intensif, tanah ini mengalami pemiskinan unsur hara dalam bentuk kation basa, sehingga biasanya mempunyai kejenuhan basa rendah. Pencucian intensif dimungkinkan pada daerah dengan curah hujan yang tinggi. Nama Ultisol adalah nama tanah pada tingkat Ordo, dan diklasifikasikan lagi ke tingkat yang lebih tinggi. Sebagai contoh, *Kandiudult* (tanah Ultisol, yang hampir selalu lembab sepanjang tahun, serta mempunyai KTK sangat rendah).

Wawancara Kelompok (**group interview**)

Sebuah wawancara dengan sekelompok orang yang mana mereka mendiskusikan suatu ide, pengalaman dan topic pembicaraan lain di bawah pengarahan seorang moderator (lihat juga **Focal Group Discussion** atau **Diskusi Kelompok Terpusat**)

Daftar pustaka

- Brouwer R, 1963. Some aspects of the equilibrium between overground and underground plant parts. *Jaarb.IBS, Wageningen*, pp 31-39.
- Brouwer R; 1983. Functional equilibrium: sense or nonsense? *Neth. J. Agric. Sci* 31: 335-348.
- de Foresta H and Michon G, 1997. The agroforest alternative to *Imperata* grasslands: when smallholder agriculture and forestry reach sustainability. *Agroforestry Systems* 36:105-120.
- Elmhirst RJ, 1996. Soil fertility management in the context of livelihood systems among transmigrants in N. Lampung. *Agrivita* 19 (4): 212-220.
- Giller KE, McDonagh JF and Cadisch G, 1995. Can biological nitrogen fixation sustain agriculture in the tropics?. **In:** Syers JK and Rimmer DL, *Soil science and sustainable land management in the tropics*, pp. 173- 191
- Giller KE, 2000. View Point translating science into action for agricultural development in the tropics: an example from decomposition studies. *Applied Soil Ecology* 14 (2000) 1-3.
- Goedewagen MAJ, 1937. The relative weight of shoot and root of different crops and its agricultural significance in relation to the amounts of phosphate added to the soil. *Soil Sci.* 44: 185-202.
- Hairiah K and van Noordwijk M, 1986. Root studies on a tropical ultisol in relation to nitrogen management. *Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren, The Netherlands. Rapport 7-86.* 121 p.
- Hairiah K, van Noordwijk M, and Setijono S, 1991a. Tolerance to acid soil conditions of the velvet beans *Mucuna pruriens* var. *utilis*. and *M. deeringiana*. I, Root development. *Plant and Soil* 134: 95-105.
- Hairiah K, van Noordwijk M, Santoso B and Syekhfani MS, 1992. Biomass production and root distribution of eight trees and their potential for hedgerow intercropping on an ultisol in Lampung. *AGRIVITA* 15: 54-68.
- Hairiah K, Utomo WH and van der Heide J, 1992. Biomass production and performance of leguminous cover crops on an ultisol in Lampung. *AGRIVITA* 15(1): 39-44
- Hairiah K, Cadisch G, van Noordwijk M, Latief AR, Mahabharata G, Syekhfani, 1995. Size-density and isotopic fractionation of soil organic matter after forest conversion. *In: A. Schulte and D. Ruhayat (eds.) Proc. Balikpapan Conf. on Forest Soils* Vol. 2: 70-87.
- Hairiah K, Latif AR, Mahabratha IG, van Noordwijk M, 1996. Soil organic matter fractionation under different land use types in N.Lampung. *AGRIVITA*, 19 (4): 146-149.
- Hairiah K, Adawiyah R, Widyaningsih J, 1996. Amelioration of Aluminium toxicity with organic matter: Selection of organic matter based on its total cation concentration. *AGRIVITA*, 19 (4): 158-164.
- Hairiah K, Kasniari DN, van Noordwijk M, de Foresta H and Syekhfani, 1996. Litterfall, above-and belowground biomass and soil properties during the first year of *Chromolaena odorata* fallow. *AGRIVITA* 19(4): 184-192.
- Hairiah K, van Noordwijk M and Cadisch G, 2000. Carbon and Nitrogen balance of three cropping systems in N. Lampung. *Neth. J. Agric. Sci.* 48(2000): 3-17.
- Hairiah K, van Noordwijk M and Cadisch G, 2000. Quantification of biological N₂ fixation of hedgerow trees in Northern Lampung. *Neth. J. Agric. Sci.* 48(2000): 47-59.

- Handayanto E dan Ismunandar S, 1999. Seleksi bahan organik untuk peningkatan sinkronisasi nitrogen pada ultisol, Lampung. *Habitat II* (109), hal. 37-47.
- Handayanto E, 1994. Nitrogen mineralization from legume tree prunings of different quality. PhD thesis University of London, 230 p.
- Hassink J, Lebbink G, Van Veen J, 1991 Microbial biomass and activity of a reclaimed-polder soil under a conventional or a reduced-input farming system. *Soil Biol. Biochem.*, 23: 507-513.
- Huxley PH, 1999. *Tropical Agroforestry*. Blackwell Science Ltd, UK. ISBN 0-632-04047-5. 371p.
- Kang BT, 1989. Nutrient management for sustained crop production in the humid and subhumid tropic. Dalam: Van der Heide (ed) *Proc. Int. Symp. Nutrient management for food crop production in tropical farming systems*. IB-DLO dan Unibraw, hal 3-28.
- Kusworo A, 2000. Perambah hutan atau kambing hitam? potret sengketa kawasan hutan di Lampung. Bogor, Pustaka Latin.
- Marschner H, 1986. Mineral nutrition of higher plants. p 447-458.
- Matus FJ, 1994. Crop residue decomposition, residual soil organic matter and nitrogen mineralization in arable soils with contrasting textures. PhD Dissertation, LUW, The Netherlands. 141 p.
- Mayers RJK, Palm CA, Cuevas E, Gunatilleke IUN and Brossard M, 1994. **In**: Woomer PL and Swift MJ, 1994. *The Biological Management of Tropical Soil Fertility*. TSBF. pp 81-116.
- Michon G and de Foresta H, 1995. The Indonesian agro-forest model: forest resource management and biodiversity conservation. in Halladay P and DA Gilmour eds.: *Conserving Biodiversity outside protected areas. The role of traditional agro-ecosystems*. IUCN: 90-106.
- Meijboom FW, Hassink J and van Noordwijk M, 1995. Density fractionation of soil macroorganic matter using silica suspensions. *Soil Biol. Biochem.* 27(8): 1109-1111.
- Oldeman, 1975. An agro-climatic map of Java. C.R.J. Agr. Bogor.
- Ong CK and Huxley P, 1996. Tree-crop interactions – A physiological approach. CAB International, Wallingford, UK. 386 p.
- Ruthenberg H, 1976. Farming systems in the tropics. Clarendon Press – Oxford. p 67-103.
- Parton WJ, Woomer PJ and Martin A, 1994. Modelling soil organic matter dynamics and plant productivity in tropical ecosystems. In: Woomer PL and MJ Swift (Eds.) *The Biological Management of Tropical Soil Fertility*. John Wiley & Sons, Chichester, UK, pp.171-188.
- Purnomosidhi P, Hairiah K, Subekti R and van Noordwijk M, 2000 (?). Shade-based control and other smallholder practices to reclaim *Imperata* (alang-alang) grasslands in N. Lampung (Sumatra, Indonesia). ASA (**In press**).
- 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.
- Rowe, E 1999. The safety-net role of tree roots in hedgerow intercropping systems. PhD., University of London, Asford, Kent.
- Santoso D, 1998. Development of phosphorus fertilizer use on acid soils in Indonesia. *In* "Nutrient Management for Sustainable Crop Production in Asia" (A. E. Johnston and J. K. Syers, eds.). CAB International, Wallingford, Oxon, UK.
- Schuurman JJ, 1983. Effect of soil conditions on morphology and physiology of roots and shoots of annual plants. A generalized vision, In: *Wurzelökologie und ihre nutzanwendung*. International symposium Gumpenstein, 1982. Bundesanstalt Gumpenstein, Irnding, pp 343-354.

- Simatupang P, Sudaryanto T, Purwanto A, and Saptana, 1995. Projection and policy implications of medium and long-term rice supply and demand in Indonesia. Centre for Agro-Socioeconomic Research, Bogor, Indonesia and International Food Policy Research Institute, Washington, D.C.
- Smith FH and Ferguson JHA, 1941. Rainfall type based on wet and dry period ratios for Indonesia. Kementrian Perhubungan RI, Jakarta.
- 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*: C Ginting, A Gafur, FX Susilo, AK Salam, A Karyanto, S D 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.
- Suprayogo D, 2000. Testing the 'safety-net' hypothesis in hedgerow intercropping: water balance and mineral N leaching in the humid tropics. PhD disertation, University of London, Asford, Kent.
- Tomich TP, van Noordwijk M, Budidarsono S, Gillison A, Kusumanto T, Murdyarso D, Stole F and Fagi AM, 1998. Alternatives to slash-and-burn in Indonesia. Summary Report and synthesis of phase II. ICRAF, Nairobi, Kenya. 139 p.
- Van der Eng P, 1993. Agricultural growth in Indonesia since 1880: productivity change and the impact of government policy. Ph D, Universiteitsdrukkerij Rijksuniversiteit, Groningen.
- Van der Heide J, Setijono S, Syekhfani MS, Flach EN, Hairiah K, Ismunandar S, Sitompul SM and van Noordwijk M, 1992. Can low external input cropping systems on acid upland soils in the humid tropics be sustainable? Backgrounds of the UniBraw/IB Nitrogen management project in Bunga Mayang (Sungkai Selatan, Kotabumi, N. Lampung, S. Sumatera, Indonesia). AGRIVITA 15: 1-10.
- van Noordwijk M, 1989. Rooting depth in cropping systems in the humid tropics in relation to nutrient use efficiency. In: J van der Heide (ed.) Nutrient management for food crop production in tropical farming systems. Institute for Soil Fertility and Brawijaya University, Haren/Malang. pp 129-144.
- van Noordwijk M, Widiyanto, Sitompul SM, Hairiah K, and Guritno B, 1992. Nitrogen management under high rainfall conditions for shallow rooted crops: principles and hypotheses. AGRIVITA 15: 10-18
- van Noordwijk M, Sitompul SM, Hairiah K, Listyarini E, and Syekhfani 1995. Nitrogen supply from rotational or spatially zoned inclusion of leguminosae for sustainable maize production on an acid soil in Indonesia. In: RA Date, NJ Grundon, GE Rayment, ME Probert (Eds.): Plant-Soil Interactions at low pH. Proc. Third Int. Symp, Brisbane, Australia 12-16 September 1993. pp. 779-784. ISBN: 0-7923-3198-2.
- van Noordwijk M, Tomich TP, Winahyu R, Murdyarso D, Suyanto, Partoharjono S and Fagi AM ASB, 1995. Alternatives to slash and burn in Indonesia. Summary Report of Phase I. ASB-Indonesia Report No. 4, Bogor, Indonesia. 154 p.
- van Noordwijk M, Lusiana B, Suyanto and Tomich TP, 1996. Soil and other constraints to agricultural production with or without trees in the N. Lampung benchmark area of the 'The alternatives to Slash and Burn' Project. AGRIVITA 19 (4): 136-145.
- 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.

Daftar pustaka

- 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 and Hairiah, 2000. Tree – Soil- Crop Interactions. Lecture notes. ICRAF SE Asia, Bogor. 12p.
- Woomer PL, Martin A, Swift MJ and Barrios E, 1994. **In:** Woomer PL and Swift MJ. The Biological Management of Tropical Soil Fertility. TSBF. pp 47-81.
- Young A, 1989. Agroforestry for soil conservation. CAB International, Walingford. pp 218.

Indeks

A

agregat tanah, 73, 76
 agregat, 44, 73, 76
 agroforestri kompleks, 102, 103, 132
 agroforestri sederhana, 102
 agroforestri, 4, 6, 7, 10, 27, 101, 102, 103, 104, 109, 112, 122, 129, 130, 131, 132, 152
 agroklimat, 37, 38, 39, 40
 air drainasi, 106, 147
 akar rimpang, 113, 121, 122
 Al dapat ditukar, 45
 alang-alang, 4, 15, 20, 21, 27, 33, 42, 56, 64, 67, 105, 112, 119, 120, 121, 122, 163, 164
 Al-avoidance, 96
 aliran gravitasi, 56
 Al_{monomeric}, 45, 46, 79
 aluminium, 31, 43, 44, 47, 52, 65, 78
 anorganik, 2, 4, 74, 79, 80, 89
 asam fulvat, 79

B

Bahan Organik Tanah, 4, 7, 48, 64, 68, 69, 70, 73, 74, 75, 76, 79, 80, 84, 99, 106, 137, 138, 139, 143, 144, 149, 151
 bera, 5, 20, 23, 71, 103, 132, 149, 150, 151
 berat kering fraksi BOT, 78
 bintil akar, 7, 90, 148
biological ameliorant, 76
 bottom-up, 164
 bulan basah, 37, 38, 40
 bulan kering, 37, 38, 40
 bulangan, 89, 97, 120
by-pass flow, 68, 99

C

Caesalpinioideae, 90
Calliandra, 72, 73, 109, 120
Calopogonium caeruleum, 72, 97
Calopogonium mucunoides, 72, 97
catchment, 33
 cekaman air, N dan P, 135
Centrosema, 72, 89, 97
 CENTURY, 74, 75
Crotalaria, 72, 97
 curah hujan, 18, 23, 36, 37, 38, 39, 41, 43, 44, 45, 48, 49, 57, 59, 60, 61, 66, 84, 85, 133, 134, 140, 143, 144

D

dadap minyak, 72
 daerah tangkapan sungai, 33
 dasarian, 37, 40
 daur ulang hara, 105
 debu, 45, 70, 133
deep plowing, 67
 degradasi, 57, 64, 101, 147
 dekade, 40, 101, 153
 deskripsi lokasi, 31
Desmodium ovalifolium, 89
 detoksifikasi Al, 77, 78
 diameter akar, 52, 53, 54
 distribusi perakaran, 50, 53, 119, 123, 124, 132, 149
 diversifikasi, 63, 64
 dolomit, 65
 drainase dalam, 60
 drainasi, 33, 43, 49, 146, 147, 149
Dystrudepts, 42

E

efisiensi pemupukan, 73, 85
 efisiensi serapan hara, 100, 145, 146
 ekstensifikasi, 1
endo-mycorrhiza, 88

Entisols, 42

erosi, 7, 19, 22, 23, 33, 37, 41, 43, 44, 46, 47, 56, 57, 58, 60, 63, 64, 65, 67, 68, 69, 73, 82, 83, 100, 101, 106, 114, 147
Erythrina, 72, 73, 106
 evaporasi, 37, 38, 82, 83

F

fiksasi N, 7
Flemingia congesta, 89, 97, 116, 120
Focal-group discussion, 159
 fraksi BOT, 75, 77, 78
 fraksi labil, 75, 76
 fraksionasi BOT, 77
 fulfat, 108

G

gallery forests, 41
 Gamal (*Gliricidia*), 50, 53, 54, 72, 73, 79, 88, 89, 93, 95, 97, 106, 109, 117, 120, 121, 122, 149
 geografis, 31
Gmelina arborea, 89, 97
Grossarenic Kandiuault, 44, 132
 gulma, 4, 27, 46, 56, 63, 64, 65, 67, 105, 112, 115, 121, 132, 147

H

hara, 2, 4, 5, 7, 43, 44, 45, 47, 52, 54, 56, 57, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 72, 73, 74, 76, 77, 79, 80, 81, 84, 85, 86, 87, 89, 98, 104, 105, 114, 118, 121, 123, 124, 130, 131, 134, 135, 140, 145, 146, 147, 149
 herbisida, 65, 67
 hifa, 88

- hujan bulanan, 37, 38, 40
Hydraquents, 42
- I**
- iklim mikro, 106
iklim, 18, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 41, 49
Imperata cylindrica, 56, 64, 115
Inceptisols, 33, 42
indeks panen-N, 90, 91, 94
indeks panen, 92
infeksi mikoriza, 87, 88
infiltrasi, 44, 49, 68, 69, 73, 130, 147
intensifikasi, 1, 5, 64
interaksi, 7, 103, 104, 109, 111, 129, 130, 131, 148, 149, 158
isohipertermik, 76
- J**
- jagung, 12, 20, 22, 24, 50, 52, 53, 54, 55, 60, 79, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 96, 102, 106, 111, 112, 133, 134, 135, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 150, 151, 152
jaring penyelamat hara, 7, 85, 86, 100, 104, 105, 119, 140, 145, 146, 148
- K**
- kacang ruji, 89, 122
kandungan N, 7, 72, 73, 77, 82, 94, 138, 143, 145
kandungan total bahan organik tanah (C_{total} atau C_{org}), 70
kandungan total bahan organik tanah, 70
kaolinit, 44, 45
kapasitas menahan hara (KTK), 46, 47, 65, 66, 133
kapasitas tukar anion, 45
Kapasitas Tukar Kation (KTK), 44, 45, 65, 73, 133
Kapital-N, 91, 92, 93
karakteristik pohon, 131
karet, 15, 16, 25, 58, 97, 101, 102, 103
keanekaragaman hayati, 100
kebum campuran, 64, 102
kecepatan dekomposisi, 76, 77, 80, 118
kecipir, 89
kedalaman efektif perakaran, 87
kedalaman perakaran, 47, 55, 67, 86, 87, 119
kedalaman tanah efektif, 47
kejenuhan Al, 46
kejenuhan bahan organik tanah, 149, 150
kekeringan, 5, 18, 19, 24, 25, 26, 41, 45, 46, 47, 49, 50, 55, 64, 119, 121, 134
kelapa sawit, 15, 16, 25, 56, 97
kelat, 83
kelembaban udara, 34, 35
kelenturan daun, 118
kemasaman tanah, 7, 85, 87
keracunan Al, 29, 46, 47, 48, 52, 53, 54, 58, 59, 85, 96, 108, 140
keragaman hayati, 76
kesehatan tanah, 132, 135
keseimbangan fungsi, 123
keseimbangan morfogenetik, 123
ketebalan daun, 118
ketebalan lapisan perakaran, 49
keterbukaan lahan, 58
ki besin, 72, 89, 122
kompetisi, 86, 87, 103, 104, 105, 140, 142, 144, 147
komplimentasi, 103
konkresi, 43
kontinuitas suplai air, 49
koro benguk, 72, 89, 90, 122
krokos, 19, 20, 52, 67
KTK- efektif, 46
kualitas bahan organik, 77, 79, 80, 84, 100, 118
- L**
- ladang berpindah, 5, 102, 112
lahan tadah hujan, 1, 2, 3, 5, 8, 9, 15, 18, 37, 132
Lamtoro, 73, 86, 87, 89, 97, 121
Laterit, 2, 43, 67
Latosol, 2
Leucaena leucocephala, 86, 89, 97, 109, 120
liang akar pohon, 108
liat, 44, 45, 46, 70, 71, 74, 75, 76, 87, 133
Light Captured, 10, 129
Lignin, 75, 76, 77, 82
limpasan permukaan, 57, 68, 87, 100, 146, 147
luas permukaan akar, 52, 88, 123
LUDOX, 78
- M**
- malat, 108
Manihot esculenta, 89
masalah, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 15, 18, 21, 24, 25, 26, 29, 43, 45, 46, 47, 50, 57, 58, 61
masukan bahan organik, 138, 141, 146
masukan N-total ke dalam tanah, 72
memahami petani, 9, 10, 37, 153, 155, 156, 157, 158, 161, 163, 164, 165
menggali informasi, 156
mengkelat Al, 108
microbial biomass, 75
mikoriza, 7, 88, 89
mineralisasi, 7, 48, 61, 68, 69, 74, 75, 79, 80, 81, 84, 108, 118, 140, 144
mineralogi, 44
monokultur, 5, 24, 54, 111, 113, 133, 140, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 149
morfologi, 52, 123

- MOTHER SOIL, 99
Mucuna, 72, 89, 90, 97, 98, 122
 Mulsa, 72, 77, 82, 83, 109, 119
- N**
- N-anorganik, 80
 naungan, 7, 105, 109, 110, 122, 128, 144
 neraca air, 37, 141, 147
 neraca C, 115, 116, 141
 neraca N, 93, 99, 115, 141
 nisbah serapan N, 146
 nitrifikasi, 87
 N-kapital, 90
 N-mineral, 106
non-farm, 14, 15, 154, 161
nutrient, 10, 129
- O**
- off-farm*, 13, 14, 154
on-farm, 154, 161
Oxisols, 2, 33, 42, 44, 45, 46, 47
- P**
- panjang akar total, 54, 55
 partikel, 44, 45, 57, 75, 77, 133
 pasir, 44, 45, 70, 133
 pekarangan, 103
Peltophorum, 72, 73, 85, 86, 90, 97, 120
 pemompa hara, 105
 pemupukan N, 134, 138, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 148, 150, 151
 pemupukan, 21, 22, 66, 67, 89
 penambahan N dari udara, 119
 penambahan N, 89, 90, 91, 93
 pencucian N, 87, 89, 138, 139, 140, 143, 144, 145
 pencucian unsur hara, 59, 64, 68, 85
 pencucian, 43, 44, 57, 59, 60, 64, 68, 69, 80, 81, 84, 85, 87, 89
- pendekatan partisipatif, 153, 164
 peneduh, 7
 peneplain, 33, 41, 42
 pengapuran, 65
 pengelolaan bahan organik, 138
 pengelolaan pohon, 128
 pengelolaan tanah secara biologi, 4
 pengelolaan tanah secara organik, 4
 pengembalian sisa panen, 137, 138, 139
 pengenalan pedesaan secara cepat, 156
 pengetahuan lokal, 11
 penggunaan lahan, 163
 pengolahan tanah, 68
 penguasaan atas tanah, 26
 pentade, 40
 penyebaran akar, 44, 54
 penyiangan gulma, 68
 penyiangan, 21
 periode basah, 37, 39, 49, 50
 periode kering, 37, 40, 49, 50
 perkebunan monokultur, 4, 5
 perkembangan akar, 127
 perkolasi, 68, 84
 permasalahan aktual, 47
 permukaan daun, 118
 persepsi petani, 25
 pertanian tadah hujan, 37, 41
 pestisida, 21
 petaian, 27, 72, 73, 85, 86, 90, 93, 106, 109
 petani kecil, 156
 petani subsisten, 13, 14
 petatan, 18
 pH tanah, 65, 70, 79, 108
 pH-H₂O, 45, 108
 pH-KCl, 45, 108
 Podsolik Merah Kuning, 2
 polarisasi, 15
 polifenol, 76, 77, 120
 polyphenol, 82, 120
 porositas tanah, 100
 porositas, 44, 49
 produksi potensial jagung, 133, 134
- produksi tanaman yang berkelanjutan, 3
 produksi, 132, 133, 134, 135, 137, 138, 139, 141, 142, 143, 148, 151, 152
 produktivitas lahan, 1
 produktivitas tanah, 137, 138, 140
Psophocarpus palustris, 89
Pueraria javanica, 89
 pupuk hayati, 87
 pupuk organik, 22
- R**
- radiasi matahari, 34, 35, 36
rapid appraisal, 160
rapid rural appraisal, 156
recalcitrant residue, 75
 recalcitrant, 75, 80
 respon fungsi, 124
 respon lokal akar, 97
 respon morfologi, 124
 rhizobium, 80, 89
- S**
- sebaran akar, 50, 53, 98
 sebaran kanopi, 110
 sebaran tajuk pohon, 117
 serapan air, 131, 132
 simulasi model WaNuLCAS, 129, 132
 simulasi, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 137, 138, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152
sink, 76
 sinkronisasi hara, 100
 sinkronisasi, 60, 61, 66, 67, 77, 80, 81, 86, 130, 146
 sinlokalisasi, 66
 sistem budidaya pagar, 93, 94, 109, 132, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149
 sistem ekologi yang tertutup, 7
 sistem pengelolaan tanaman, 131
 sistem tertutup, 69

sistem perakaran, 110
sitrat, 108
soil conditioner, 74
source, 76
strip cropping, 132
substansi humik, 76
suhu udara, 34

T

tahun basah, 39, 50
tahun kering, 39, 50
tanah “dingin”, 149
tanah masam, 31, 52, 53, 54,
61, 93
tanah pekarangan, 163
tanah sawah, 163
tanah tegal, 163
tanaman leguminosa, 115
tanaman pagar, 109, 110,
111, 117, 121
tanaman pensiun, 15, 25, 26
tanaman semusim, 24
tanaman yang toleran pada
tanah masam, 96
tanaman yang toleran
terhadap Al, 100
tebang dan bakar (*shifting
cultivation*), 11, 57, 58, 112
tekstur tanah, 45
tinggi pangkasan, 125, 128
total panjang akar, 127, 131
transmigran, 12, 13, 15, 19,
21, 25, 29
transmigrasi, 11
tropika basah, 39
tropofluvents, 42
tumpang gilir, 24, 93, 94, 115
tumpangsari, 24, 85, 93, 113
turnover, 75, 76

U

ubi kayu, 89
ultisols, 2, 33, 42, 44, 45, 46,
47
umur paruh, 74, 75

W

wanatani, 102
WaNuLCAS, 10, 129, 130,
131, 132, 134, 137, 138,
140, 141, 143, 145, 147,
149, 152
wawancara, 157, 158, 159,
160

Z

Zea mays, 89, 97

