

TEKNOLOGI

KONSERVASI TANAH PADA LAHAN KERING BERLERENG



Editor: Undang Kurnia, Achmad Rachman, Ai Dariah

PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TANAH DAN AGROKLIMAT

Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian

Departemen Pertanian

2004



TEKNOLOGI KONSERVASI TANAH
PADA LAHAN PERTANIAN BERLERENG

**PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TANAH DAN
AGROKLIMAT**

Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian
Departemen Pertanian

2004

Penanggung jawab : Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat

Penyunting : Undang Kurnia
Achmad Rachman
Ai Dariah

Redaksi Pelaksana : Herry Sastramihardja
Sri Erita Aprillani
Farida Manalu
Wiwik Hartatik

Setting/Layout : Didi Supardi

Penerbit : Pusat Penelitian dan Penelitian Tanah dan Agroklimat (Puslitbangtanak)
Jl. Ir. H. Juanda 98 Bogor 16123
Jawa Barat
Telp. (0251) 323012, Fax : (0251) 311256
E-mail : Soil-ri@indo.net.id

Penulisan dan pencetakan buku ini dibiayai dengan dana APBN Bagian Proyek Penelitian Sumberdaya Tanah (BP2ST) Tahun Anggaran 2004, Balai Penelitian Tanah, Bogor.
<http://balittanah.litbang.deptan.go.id>

KATA PENGANTAR

Lahan kering adalah salah satu ekosistem sumberdaya lahan yang dapat digunakan untuk pembangunan pertanian. Pembangunan lahan kering untuk pertanian sering dihadapkan pada masalah penggunaan lahan dan pengelolaannya, khususnya lahan kering berlereng yang diusahakan untuk pertanian tanaman pangan/semusim. Salah satu masalah tersebut adalah erosi yang dapat menurunkan produktivitas lahan.

Buku ini menyajikan informasi tentang hasil penelitian erosi, dan kemunduran (degradasi) produktivitas lahan kering di Indonesia, cara mengukur atau menaksir erosi, serta upaya-upaya yang dapat dilakukan untuk konservasi tanah pertanian lahan kering. Informasi-informasi tersebut diharapkan dapat berguna bagi berbagai pihak untuk perencanaan penggunaan lahan dan konservasi tanah pertanian di Indonesia.

Ucapan terima kasih dan penghargaan disampaikan kepada semua pihak yang telah mengumpulkan data dan informasi tentang pengelolaan lahan kering, dan menyusunnya dalam buku ini. Semoga hasil karya ini bermanfaat dalam pengembangan pertanian lahan kering, guna mendukung pembangunan pertanian nasional.

Bogor, Desember 2004
Pusat Penelitian dan Pengembangan
Tanah dan Agroklimat
Kepala,

Dr. Abdurachman Adimihardja
NIP. 080.020.552

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR ISTILAH	v
1. EROSI DAN DEGRADASI LAHAN KERING DI INDONESIA	1
<i>Ai Dariah, Achmad Rachman, dan Undang Kurnia</i>	
2. KEPEKAAN TANAH TERHADAP EROSI	7
<i>Ai Dariah, H. Subagyo, Chendy Tafakresnanto, dan Setiari Marwanto</i>	
3. MODEL PREDIKSI EROSI: PRINSIP, KEUNGGULAN, DAN KETERBATASAN	31
<i>Tagus Vadari, Kasdi Subagyo, dan Nono Sutrisno</i>	
4. TEKNOLOGI KONSERVASI TANAH VEGETATIF	71
<i>Djoko Santoso, Joko Purnomo, I G. P. Wigena, dan Enggis Tuherkih</i>	
5. TEKNOLOGI KONSERVASI TANAH MEKANIK	103
<i>Ai Dariah, Umi Haryati, dan Torry Budhyastoro</i>	
6. TEKNOLOGI KONSERVASI TANAH PADA BUDI DAYA SAYURAN DATARAN TINGGI	127
<i>Undang Kurnia, Husein Suganda, Deddy Erfandi, dan Harry Kusnadi</i>	
7. TEKNOLOGI KONSERVASI AIR PADA PERTANIAN LAHAN KERING	145
<i>Kasdi Subagyo, Umi Haryati, dan Sidik Hadi Tala'ohu</i>	
8. OLAH TANAH KOSERVASI	183
<i>Achmad Rachman, Ai Dariah, dan Edi Husen</i>	

DAFTAR ISTILAH

Air lebih: Air yang tidak dapat dipegang atau ditahan oleh butir-butir tanah dan memenuhi atau menjenuhi pori-pori tanah

Bahan pembenah tanah (*soil conditioner*): Bahan-bahan yang mampu memperbaiki struktur tanah, mengurangi atau mengendalikan erosi dan dapat merubah kapasitas tanah menahan dan melalukan air

Bangunan terjunan: Bangunan yang terbuat dari susunan batu atau bambu atau bahan lainnya pada saluran pembuangan air (SPA) yang berfungsi untuk mengurangi kecepatan aliran air pada SPA tersebut.

Bedengan: Gundukan tanah yang dibuat untuk pertanaman khususnya sayuran, dengan lebar dan tinggi tertentu, dan di antara dua bedengan dipisahkan oleh saluran atau parit drainase.

Berat isi tanah: Berat massa tanah per unit volume tanah.

Budidaya lorong (*alley cropping*): Suatu sistem pertanaman dimana tanaman pangan ditanam pada lorong (*alley*) di antara barisan tanaman pagar (*hedgerow*).

Dataran tinggi: Hamparan lahan yang tidak pernah tergenang atau digenangi dalam penggunaannya sepanjang tahun, dan terletak pada ketinggian di atas 700 meter dari permukaan laut (dpl). Penetapan angka 700 meter dpl didasarkan pada suhu udara di ketinggian tersebut tergolong sejuk (berdasarkan rumus Brook sekitar 22°C), dan sesuai untuk pertumbuhan optimum berbagai jenis tanaman dataran tinggi, termasuk sayur-sayuran.

Degradasi lahan: Proses penurunan produktivitas lahan, baik yang sifatnya sementara maupun tetap

Drainase: Keadaan dan cara keluarnya air lebih (*excess water*).

Efisiensi penggunaan air: Hasil tanaman yang diperoleh dari setiap unit penggunaan air irigasi.

Embung: Bangunan yang berfungsi selain sebagai pemanen aliran permukaan dan air hujan, juga sebagai tempat resapan yang akan meningkatkan kandungan air tanah, dan berfungsi sebagai cadangan air irigasi dimasa kemarau.

Erosi: Hilangnya atau terkikisnya tanah atau bagian-bagian tanah oleh media alami (air atau angin) dari suatu tempat ke tempat lain

Erosi alur: Erosi yang terjadi sebagai akibat air terkonsentrasi dan mengalir pada tempat-tempat tertentu di permukaan tanah, sehingga proses penggerusan tanah banyak terjadi pada tempat tersebut, yang kemudian membentuk alur-alur

Erosi lembar: Pengangkutan lapisan tanah yang merata tebalnya dari suatu permukaan bidang tanah oleh agen erosi.

Gulud pemanen air: Bangunan konservasi air untuk memanen air aliran permukaan dan meningkatkan kelengasan tanah

Hambatan mekanik tanah: Gaya atau tekanan yang diberikan oleh tanah untuk melawan masuknya *cone* (sebagai simulasi akar) pada kedalaman tertentu.

Irigasi bawah permukaan: Irigasi yang diberikan ke tanah tanpa melalui proses infiltrasi, dimaksudkan untuk memperkecil kehilangan air melalui evaporasi, serta memberikan peluang air irigasi membasahi zona perakaran.

Irigasi sprinkler: Pemberian air irigasi dengan cara disemprotkan (melalui nozzel-nozzel pada alat irigasi) ke permukaan tanah dengan menggunakan sistem tekanan atau pompa.

Irigasi tetes: Pemberian air irigasi melalui lubang-lubang (*emitters*) dengan kecepatan yang dapat diatur agar penggunaannya efisien.

Kadar air tersedia: Kadar air tanah antara kondisi kapasitas lapang dan titik layu permanen.

Kapasitas lapang: Batas kadar air tanah pada kondisi tidak terjadi lagi drainase internal di dalam tanah. Penetapan kadar air pada kapasitas lapang dilakukan umumnya di laboratorium pada tegangan air (nilai pF) 2,54.

*Kebun campuran: **Kebun yang mirip dengan talun, tetapi komponen tanamannya berupa tanaman hutan dan tanaman tahunan lain yang sengaja ditanam.***

Kedalaman efektif tanah: Kedalaman tanah yang diukur dari permukaan tanah sampai sejauh akar tanaman dapat menembus tanah.

Kedalaman solum: Ketebalan tanah di atas bahan induk tanah (horizon A dan B).

Kelangkaan air (*water scarcity*): Kondisi dimana air sulit diperoleh akibat dari defisit neraca air

Kepekaan tanah terhadap erosi (*erodibilitas tanah*): Mudah tidaknya suatu tanah tererosi (mudah tidaknya suatu tanah untuk dihancurkan oleh kekuatan jatuhnya butir-butir hujan, dan/atau oleh kekuatan aliran permukaan).

Konservasi air: Pemanfaatan air yang jatuh ke permukaan tanah secara efisien dan mengatur waktu aliran, sehingga tidak terjadi banjir yang merusak dan terdapat cukup air pada musim kemarau

Konservasi tanah mekanik: Semua perlakuan fisik mekanis yang diberikan terhadap tanah, dan pembuatan bangunan yang ditujukan untuk mengurangi aliran permukaan dan erosi serta meningkatkan kelas kemampuan tanah

Konservasi tanah vegetatif: Semua tindakan konservasi yang menggunakan tumbuh-tumbuhan (vegetasi), baik tanaman legum yang menjalar, semak atau perdu, maupun pohon dan rumput-rumputan serta tumbuh-tumbuhan lain, yang ditujukan untuk mengendalikan erosi dan aliran permukaan pada lahan pertanian.

Lahan kering: Hamparan lahan yang tidak pernah tergenang atau digenangi air pada sebagian besar waktu dalam setahun atau sepanjang waktu

Longsor: Pergerakan atau pindahannya tanah yang terjadi pada suatu saat dalam volume yang besar, sebagai akibat meluncurnya suatu volume tanah di atas suatu lapisan agak kedap yang penuh air.

Mulsa vertikal (*slot mulch*): Mulsa (terdiri dari sisa-sisa tanaman atau serasah) yang dimasukkan kedalam lubang (rorak, saluran) untuk meningkatkan kemampuan tanah dalam menyimpan air dan dapat digunakan untuk menampung sedimen.

Mulsa: Bahan-bahan (sisa-sisa panen, plastik dan lain-lain) yang disebar atau digunakan untuk menutup permukaan tanah agar tanah tersebut terhindar dari kerusakan.

Olah tanah konservasi: Cara penyiapan lahan yang menyisakan sisa tanaman di atas permukaan tanah sebagai mulsa.

Olah tanah seperlunya: Cara bertani yang mengurangi frekuensi pengolahan tanah.

Olah tanah strip: Cara bertani yang mengolah tanah hanya pada strip atau jalur yang akan ditanami.

Pagar hidup: Barisan tanaman tahunan jenis perdu atau pohon sepanjang batas kepemilikan lahan yang ditanam dengan jarak tanam rapat sebagai pagar.

Panen air (*water harvesting*): Salah satu teknik konservasi air yang dilakukan dengan menampung air (hujan dan aliran permukaan) pada musim hujan untuk meningkatkan ketersediaan air pada musim kemarau.

Pekarangan: Penanaman tanaman tahunan dan tanaman pangan semusim, dan sering dikombinasikan dengan pemeliharaan ternak, terutama jenis ruminansia dan unggas di sekitar rumah.

Pematah angin (*windbreaks*): Barisan pohon atau rumput tinggi yang ditanam dengan jarak yang tepat untuk mencegah atau mengurangi erosi angin dan kerusakan tanaman yang disebabkan oleh angin.

Penanaman rumput: Penanaman rumput pada berbagai tempat terbuka (tidak tertutup oleh tanaman utama) seperti saluran pembuangan air (SPA), rorak, jalan dan bidang lereng dari lahan pertanian untuk membantu mengendalikan erosi dan aliran permukaan di lahan pertanian.

Pertanaman bertingkat (*multi-storey cropping*): Sistem penanaman kombinasi antara pohon dan tanaman lain yang lebih rendah habitusnya.

Pertanaman berlajur (*strip cropping*): Penanaman dua jenis tanaman atau lebih dalam strip-strip secara berselang-seling antara tanaman pokok dan tanaman penutup tanah. Pertanaman berlajur dibagi menjadi 3 jenis, yaitu

- (1) pertanaman sejajar kontur (*contour planting*), dimana pengolahan tanah (pembajakan, penggaruan), pembuatan guludan dan penanaman tanaman utama dilakukan mengikuti.
- (2) strip lapangan yang disusun memotong atau melintang arah lereng umum, pada daerah bertopografi tidak seragam dan digunakan saluran-saluran bertanaman penutup (*grassed waterway*)
- (3) strip berpenyangga (*buffer strip cropping*) terdiri atas strip rumput atau legum di antara strip tanaman pokok menurut kontur.

Pertanaman berurutan (*sequential cropping*): Sistem penanaman dengan dua tanaman atau lebih secara berurutan/bergilir.

Pertanaman campuran (*mixed cropping*): Sistem penanaman lebih dari satu macam tanaman semusim pada lahan dan waktu yang sama dengan pola tidak teratur.

Pertanaman tumpang gilir (*relay cropping*): Penanaman lebih dari satu macam tanaman pada lahan yang sama secara bergilir.

Pertanaman tumpang sari (*inter cropping*): Sistem penanaman lebih dari satu macam tanaman pada lahan yang sama secara simultan, dengan umur tanaman relatif sama dan diatur dalam barisan atau kumpulan baris secara berselang-seling.

Pola tanam: Sistem pengaturan pertanaman berdasarkan distribusi curah hujan, baik monokultur maupun tumpang sari dengan tanaman yang berumur hampir sama, pada sebidang tanah sebagai suatu strategi untuk menjamin keberhasilan usaha tani lahan kering.

Pupuk hijau: Tanaman yang ditanam khusus sebagai sumber pupuk untuk memperbaiki sifat-sifat tanah.

Rorak: Lubang atau penampang tanah yang dibuat memotong lereng, berukuran kecil sampai sedang, dibuat di bidang olah atau di saluran peresapan atau pada saluran pembuangan air (SPA) untuk menampung dan meresapkan air serta

memperlambat aliran permukaan; pengumpul sedimen; dan meningkatkan efektivitas saluran peresapan.

Saluran pembuangan air (SPA): Saluran drainase yang dibuat untuk mengalirkan air dari saluran pengelak dan/atau saluran teras ke saluran alami/sungai atau tempat penampungan atau pembuangan air lainnya.

Saluran pengelak: Saluran yang dibuat hampir searah kontur, berfungsi untuk mencegah masuknya aliran permukaan dari bidang lahan di lereng bagian atas ke lahan pertanian.

Saluran peresapan: Saluran yang berfungsi untuk menampung aliran permukaan dan meningkatkan daya resap air ke dalam tanah.

Saluran teras (pada teras bangku): Saluran yang terletak dekat perpotongan bidang olah dan tampingan teras

Saluran teras pada teras gulud: Saluran yang terletak tepat dibagian atas guludan.

Sifat hidrolik tanah: Sifat-sifat tanah yang mempengaruhi kemampuan tanah untuk menahan dan menghantarkan air.

Simpanan air (water storage): Kadar air tanah pada suatu kedalaman tertentu.

Talun: Lahan di luar areal permukiman yang ditumbuhi oleh campuran tanaman hutan dan tanaman tahunan lainnya.

Tanaman pelindung: Tanaman tahunan bertajuk tinggi yang sengaja ditanam dengan tujuan untuk melindungi tanaman semusim atau tanaman perkebunan bertajuk rendah (berupa perdu) dari kelebihan intensitas sinar matahari dan pengaruh buruk dari angin dingin.

Tanaman penutup tanah (cover crop): Tanaman yang ditanam untuk menutupi permukaan lahan pertanian yang berguna untuk mengendalikan erosi dan memperbaiki sifat-sifat tanah.

Tanaman sela: Penanaman tanaman pangan semusim atau menahun, palawija, atau rumput pakan di antara tanaman tahunan

Tanaman sela sementara: Penanaman tanaman pangan semusim, palawija atau rumput pakan di antara tanaman tahunan yang tajuknya belum menutupi seluruh permukaan tanah.

Tanaman sela terus-menerus: Penanaman tanaman pangan semusim atau menahun, palawija, atau rumput pakan di antara tanaman tahunan yang sudah menghasilkan

Tanpa olah tanah: Cara bertani yang tidak mengolah tanah, dan membiarkan semua sisa tanaman terhampar di lahan.

Teras bangku (miring keluar): Teras yang dibuat bertingkat seperti tangga, dan bidang olah ditanami tanaman pangan, sayur-sayuran, atau tanaman pertanian

lainnya, namun teras bangku tersebut masih mempunyai kemiringan cukup besar (5-10%) yang mengarah ke luar atau ke bagian bawah lereng, sehingga erosi (pengikisan dan penghanyutan tanah) yang cukup signifikan masih mungkin terjadi pada bidang olah tersebut.

Teras gulud: Gundukan tanah pada lahan miring selebar 30-75 cm dan tinggi 30-50 cm yang dilengkapi dengan saluran peresapan air di bagian belakang/atas gulud tersebut.

Teras individu: Teras yang dibuat pada setiap individu tanaman pokok terutama tanaman buah-buahan, dan perkebunan.

Teras kredit: Teras yang terbentuk secara bertahap karena tertahannya partikel-partikel tanah yang tererosi oleh barisan tanaman yang ditanam rapat.

Titik layu permanen: Batas kadar air dimana tanaman menunjukkan layu permanen atau mati. Kadar air pada titik layu permanen ditetapkan di laboratorium pada tegangan air (pF) 4.2.

Wanatani (*agroforestry*): Sistem penggunaan lahan yang mengintegrasikan tanaman pangan, pepohonan (tahunan) dan atau ternak secara terus-menerus ataupun periodik, yang secara sosial dan ekologis layak dilakukan oleh petani untuk meningkatkan produktivitas lahan dengan tingkat masukan dan teknologi rendah.

2. KEPEKAAN TANAH TERHADAP EROSI

Ai Dariah, H. Subagyo, Chendy Tafakresnanto, dan Setiari Marwanto

Kepekaan tanah terhadap erosi, atau disebut erodibilitas tanah didefinisikan oleh Hudson (1978) sebagai mudah tidaknya suatu tanah tererosi. Secara lebih spesifik Young *et al. dalam* Veiche (2002) mendefinisikan erodibilitas tanah sebagai mudah tidaknya suatu tanah untuk dihancurkan oleh kekuatan jatuhnya butir-butir hujan, dan/atau oleh kekuatan aliran permukaan. Sementara Wischmeier dan Mannering (1969) menyatakan bahwa erodibilitas alami (*inherent*) tanah merupakan sifat kompleks yang tergantung pada laju infiltrasi tanah dan kapasitas tanah untuk bertahan terhadap penghancuran agregat (*detachment*) serta pengangkutan oleh hujan dan aliran permukaan.

Di negara-negara tropis seperti Indonesia, kekuatan jatuh air hujan dan kemampuan aliran permukaan menggerus permukaan tanah adalah merupakan penghancur utama agregat tanah. Agregat tanah yang sudah hancur kemudian diangkut oleh aliran permukaan, mengikuti gaya gravitasi sampai ke suatu tempat dimana pengendapan terjadi. Keseluruhan proses tersebut, yaitu penghancuran agregat, pengangkutan partikel-partikel tanah, dan pengendapan partikel tanah disebut sebagai erosi tanah.

Di alam dikenal tiga bentuk erosi, yaitu erosi lembar (*sheet/interill erosion*), erosi alur (*rill erosion*), dan erosi parit (*gully erosion*). Erosi lembar merupakan pengangkutan lapisan tanah yang merata tebalnya dari suatu permukaan bidang tanah. Kekuatan jatuh butir-butir hujan dan aliran air di permukaan tanah merupakan penyebab utama erosi ini. Erosi alur terjadi jika air terkonsentrasi dan mengalir pada tempat-tempat tertentu di permukaan tanah, sehingga proses penggerusan tanah banyak terjadi pada tempat tersebut, yang kemudian membentuk alur-alur. Alur-alur tersebut akan hilang saat dilakukan pengolahan tanah atau penyiangan. Erosi parit terjadi hampir sama dengan erosi alur. Aliran permukaan dengan volume yang lebih besar terkonsentrasi pada satu cekungan menyebabkan kemampuannya menggerus menjadi sangat besar, sehingga mampu membentuk parit yang dalam dan lebar, yang tidak dapat dihilangkan hanya dengan pengolahan tanah biasa. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa erosi lembar merupakan bentuk erosi yang menyumbang sedimen paling besar dibandingkan dengan bentuk erosi lainnya (Bradford *et al.*, 1987 a dan b). Hal ini dimungkinkan karena erosi lembar terjadi pada areal yang relatif luas, sedangkan erosi alur atau parit hanya terjadi pada tempat-tempat tertentu dimana aliran air terkonsentrasi. Oleh karena itu, beberapa peneliti lebih memfokuskan perhatian

pada bentuk erosi lembar, termasuk dalam hubungannya dengan penetapan tingkat kepekaan tanah terhadap erosi.

FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI ERODIBILITAS TANAH

Erodibilitas tanah dipengaruhi oleh banyak sifat-sifat tanah, yakni sifat fisik, mekanik, hidrologi, kimia, reologi/litologi, mineralogi, dan biologi, termasuk karakteristik profil tanah seperti kedalaman tanah dan sifat-sifat dari lapisan tanah (Veiche, 2002). Poesen (1983) menyatakan bahwa erodibilitas bukan hanya ditentukan oleh sifat-sifat tanah, namun ditentukan pula oleh faktor-faktor erosi lainnya, yakni erosivitas, topografi, vegetasi, fauna dan aktivitas manusia. Suatu tanah yang mempunyai erodibilitas rendah mungkin mengalami erosi yang berat jika tanah tersebut terdapat pada lereng curam dan panjang, serta curah hujan dengan intensitas hujan yang selalu tinggi. Sebaliknya suatu tanah yang mempunyai erodibilitas tinggi, mungkin memperlihatkan gejala erosi ringan atau tidak sama sekali bila terdapat pada lereng yang landai, dengan penutupan vegetasi baik, dan curah hujan berintensitas rendah. Hudson (1978) juga menyatakan bahwa selain sifat fisik tanah, faktor pengelolaan/perlakuan terhadap tanah sangat berpengaruh terhadap tingkat erodibilitas suatu tanah. Hal ini berhubungan dengan adanya pengaruh dari faktor pengelolaan tanah terhadap sifat-sifat tanah. Seperti yang ditunjukkan oleh hasil penelitian Rachman *et al.* (2003), bahwa pengelolaan tanah dan tanaman yang mengakumulasi sisa-sisa tanaman berpengaruh baik terhadap kualitas tanah, yaitu terjadinya perbaikan stabilitas agregat tanah, ketahanan tanah (*shear strength*), dan resistensi/daya tahan tanah terhadap daya hancur curah hujan (*splash detachment*).

Meskipun erodibilitas tanah tidak hanya ditentukan oleh sifat-sifat tanah, namun untuk membuat konsep erodibilitas tanah menjadi tidak terlalu kompleks, maka beberapa peneliti menggambarkan erodibilitas tanah sebagai pernyataan keseluruhan pengaruh sifat-sifat tanah dan bebas dari faktor-faktor penyebab erosi lainnya (Arsyad, 2000).

Pada prinsipnya sifat-sifat tanah yang mempengaruhi erodibilitas tanah adalah: (1) sifat-sifat tanah yang mempengaruhi laju infiltrasi, permeabilitas dan kapasitas tanah menahan air, dan (2) sifat-sifat tanah yang mempengaruhi ketahanan struktur tanah terhadap dispersi, dan pengikisan oleh butir-butir air hujan dan aliran permukaan. Sifat-sifat tanah tersebut mencakup tekstur, struktur, bahan organik, kedalaman tanah, sifat lapisan tanah dan tingkat kesuburan tanah (Morgan, 1979; Arsyad, 2000). Secara umum, tanah dengan kandungan debu tinggi, liat rendah, dan bahan organik rendah adalah yang paling mudah tererosi (Wischmeier dan Mannering, 1969). Jenis mineral liat, kandungan besi dan aluminium oksida, serta ikatan elektro-kimia di dalam tanah juga merupakan sifat

tanah yang berpengaruh terhadap erodibilitas tanah (Wischmeier dan Manering, 1969; Liebenow *et al.*, 1990).

Tekstur

Tekstur tanah menunjukkan kasar halusya tanah, ditentukan berdasarkan perbandingan butir-butir (fraksi) pasir (*sand*), debu (*silt*) dan liat (*clay*). Fraksi pasir berukuran 2 mm – 50 μ lebih kasar dibanding debu (50 μ - 2 μ) dan liat (lebih kecil dari 2 μ). Karena ukurannya yang kasar, maka tanah-tanah yang didominasi oleh fraksi pasir seperti tanah-tanah yang tergolong dalam sub-ordo Psamment, akan melakukan air lebih cepat (kapasitas infiltrasi dan permeabilitas tinggi) dibandingkan dengan tanah-tanah yang didominasi oleh fraksi debu dan liat. Kapasitas infiltrasi dan permeabilitas yang tinggi, serta ukuran butir yang relatif lebih besar menyebabkan tanah-tanah yang didominasi oleh pasir umumnya mempunyai tingkat erodibilitas tanah rendah. Tanah dengan kandungan pasir halus (0,01 mm – 50 μ) tinggi juga mempunyai kapasitas infiltrasi cukup tinggi, akan tetapi jika terjadi aliran permukaan, maka butir-butir halusya akan mudah terangkut.

Debu merupakan fraksi tanah yang paling mudah tererosi, karena selain mempunyai ukuran yang relatif halus, fraksi ini juga tidak mempunyai kemampuan untuk membentuk ikatan (tanpa adanya bantuan bahan perekat/pengikat), karena tidak mempunyai muatan. Berbeda dengan debu, liat meskipun berukuran halus, namun karena mempunyai muatan, maka fraksi ini dapat membentuk ikatan. Meyer dan Harmon (1984) menyatakan bahwa tanah-tanah bertekstur halus (didominasi liat) umumnya bersifat kohesif dan sulit untuk dihancurkan. Walaupun demikian, bila kekuatan curah hujan atau aliran permukaan mampu menghancurkan ikatan antar partikelnya, maka akan timbul bahan sedimen tersuspensi yang mudah untuk terangkut atau terbawa aliran permukaan.

Fraksi halus (dalam bentuk sedimen tersuspensi) juga dapat menyumbat pori-pori tanah di lapisan permukaan. Akibatnya infiltrasi akan menurun sehingga aliran permukaan akan meningkat. Akan tetapi, jika tanah demikian mempunyai agregat yang mantap, yakni tidak mudah terdispersi, maka penyerapan air ke dalam tanah masih cukup besar, sehingga aliran permukaan dan erosi menjadi relatif tidak berbahaya (Arsyad, 2000). Salah satu contohnya ditunjukkan oleh tanah di daerah Tepus dan Laksana, Kecamatan Sumberjaya, Lampung Barat; rata-rata kandungan fraksi halus pada tanah Tepus dan Laksana >70%, karena struktur tanahnya tergolong sangat mantap, maka erosi yang terjadi <2 t ha⁻¹ tahun⁻¹, dengan rata-rata aliran permukaan <1,5% dari curah hujan efektif (Dariah, 2004; Gintings, 1982).

Bahan Organik

Bahan organik sangat berperan pada proses pembentukan dan pengikatan serta penstabilan agregat tanah. Pengikatan dan penstabilan agregat tanah oleh bahan organik dapat dilakukan melalui pengikatan secara fisik butir-butir primer tanah oleh mycelia jamur, *actinomycetes*, dan/atau akar-akar halus tanaman; dan pengikatan secara kimia, yaitu dengan menggunakan gugus-gugus aktif dari bahan organik tanah, misalnya gugusan negatif (carboxyl) pada senyawa organik berantai panjang, atau gugusan positif (gugus amine, amide, atau amino) pada senyawa organik berbentuk rantai (polymer).

Bahan organik yang masih berbentuk serasah, seperti daun, ranting, dan sebagainya yang belum hancur yang menutupi permukaan tanah, merupakan pelindung tanah terhadap kekuatan merusak butir-butir hujan yang jatuh. Bahan organik tersebut juga menghambat aliran permukaan, sehingga kecepatan alirannya lebih lambat dan relatif tidak merusak. Bahan organik yang sudah mengalami pelapukan mempunyai kemampuan menyerap dan menahan air yang tinggi, sampai dua-tiga kali berat keringnya. Akan tetapi, kemampuan menyerap air ini hanya merupakan faktor kecil dalam mempengaruhi kecepatan aliran permukaan. Pengaruh utama bahan organik adalah memperlambat aliran permukaan, meningkatkan infiltrasi, dan memantapkan agregat tanah (Arsyad, 2000). Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada 55 tanah, Wischmeier dan Mannering (1969) menyatakan bahwa energi yang dibutuhkan untuk memulai aliran permukaan dan mengakhiri proses infiltrasi semakin meningkat dengan bertambahnya kandungan bahan organik.

Struktur/Agregasi Tanah

Bentuk dan stabilitas agregat, serta persentase tanah yang teragregasi sangat berperan dalam menentukan tingkat kepekaan tanah terhadap erosi. Hasil penelitian Meyer dan Harmon (1984) pada 18 jenis tanah, menunjukkan bahwa tanah yang paling peka terhadap erosi adalah tanah yang paling rendah persentase agregasinya (*poorly aggregated*). Tanah-tanah dengan tingkat agregasi tinggi, berstruktur kersai atau granular, sarang, tingkat penyerapan airnya lebih tinggi dari pada tanah yang tidak berstruktur atau susunan butir-butir primernya lebih rapat.

Selain dipengaruhi oleh tekstur dan kandungan bahan organik, pembentukan agregat tanah dipengaruhi juga oleh jumlah dan jenis kation yang diadsorpsi liat. Hasil penelitian Meyer dan Harmon (1984) menunjukkan bahwa kandungan kalsium dapat ditukar (Ca-dd), jumlah basa-basa dapat ditukar, kapasitas tukar kation dan kandungan bahan organik tanah berkorelasi negatif dengan tingkat kepekaan tanah terhadap erosi lembar (*interill erodibility*).

Pengaruh kandungan besi dan aluminium oksida terhadap tingkat erodibilitas tanah, juga erat hubungannya dengan pembentukan dan penstabilan agregat tanah (Liebenow *et al.*, 1990). Besi dan aluminium oksida membentuk dan meningkatkan kestabilan agregat tanah, melalui pengikatan gugus-gugus negatif dari liat oleh gugus positif dari oksida-oksida tersebut.

Stabilitas agregat tanah sangat berpengaruh terhadap kemantapan pori tanah. Tanah-tanah yang mudah terdispersi atau agregatnya tidak stabil menyebabkan pori-porinya tanah juga mudah hancur atau tertutup/tersumbat oleh liat atau debu (erosi internal), sehingga laju dan kapasitas infiltrasi tanah mengalami penurunan.

Jenis mineral

Jenis mineral sangat erat hubungannya dengan sifat-sifat tanah yang dihasilkan. Liat yang mempunyai nisbah silika terhadap *sesquioxida* [$\text{SiO}_2/(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{Al}_2\text{O}_3)$] lebih besar dari nilai kritis (>2), umumnya plastis dan mengembang jika basah, sedangkan yang mempunyai nisbah <2 umumnya kersai dan tidak mudah tererosi. Mineral liat smektit (montmorillonit) mempunyai nisbah silika terhadap *sesquioxida* yang tinggi, dan diketahui bahwa tanah-tanah yang banyak mengandung liat ini bersifat mengembang dan plastis jika basah, sehingga agregatnya tidak begitu stabil dalam air, dan oleh karenanya mudah tererosi. Mineral liat kaolinit yang mempunyai nisbah silika terhadap *sesquioxida* rendah, bersifat tidak mengembang dan hanya sedikit plastis jika basah, dan membentuk agregat yang stabil. Kepekaan erosi tanah dengan mineral liat ilit berada di antara liat smektit (montmorillonit) dan kaolinit. Oxisol, yang mengandung *sesquioxida* tinggi dan silika yang rendah, membentuk agregat yang stabil dan tahan terhadap erosi (Arsyad, 2000).

Kedalaman dan sifat lapisan tanah

Karakteristik profil tanah yang sangat menentukan tingkat erodibilitas tanah adalah kedalaman tanah dan sifat lapisan tanah. Kedalaman tanah sampai lapisan kedap atau bahan induk akan menentukan jumlah air yang meresap ke dalam tanah. Sedangkan sifat lapisan tanah sangat berpengaruh terhadap laju peresapan air ke dalam tanah. Selanjutnya, jumlah dan laju peresapan air ke dalam tanah sampai lapisan kedap sangat menentukan besarnya aliran permukaan, dan hal ini sangat menentukan daya rusak dan daya angkut dari aliran permukaan. Tanah-tanah yang dangkal seperti Entisol, umumnya mempunyai kemampuan untuk menampung air relatif rendah. Sedangkan pada tanah-tanah yang tergolong Ultisol atau Alfisol, keberadaan horizon bawah permukaan yang bersifat kedap (horizon argilik), dapat mejadi faktor penghambat proses peresapan air ke dalam tanah.

Selanjutnya menurut Veiche (2002), karakteristik penampang tanah, khususnya kedalaman tanah dan sifat-sifat lapisan tanah, juga akan berpengaruh terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman. Pertumbuhan vegetatif tanaman yang cepat akan memperbesar kebutuhan air untuk proses evapotranspirasi, sehingga kandungan air di dalam tanah akan cepat menurun, termasuk air di dalam pori akan menjadi cepat kosong yang memungkinkan terjadinya penyerapan air dari hujan berikutnya.

Kesuburan tanah

Pengaruh kesuburan tanah terhadap erodibilitas tanah berpangkal pada kaitannya dengan pertumbuhan tanaman. Pada tanah yang relatif lebih subur, pertumbuhan tanaman akan relatif lebih baik. Hal ini akan berdampak pada tingkat kemampuan penyerapan air oleh tanah, seperti yang telah dijelaskan pada uraian tentang kedalaman dan sifat lapisan tanah.

Pada lahan yang subur, keberadaan sumber-sumber bahan organik tanah secara *in situ* akan lebih terjamin. Seperti telah diuraikan sebelumnya bahwa peranan bahan organik dalam menentukan kepekaan tanah terhadap erosi sangatlah penting.

Perbaikan porositas pada tanah-tanah yang subur juga dapat terjadi karena pengaruh pertumbuhan akar tanaman. Lubang-lubang bekas perakaran atau celah-celah yang terbentuk di sekitar perakaran akan meningkatkan kemampuan tanah untuk melewatkan air. Pada tanah yang subur, kehidupan biota tanah juga akan lebih baik. Biota tanah seperti cacing sangat berperan dalam perbaikan sifat fisik tanah. Mikroorganisme tanah juga merupakan faktor penting dalam ekosistem tanah, diantaranya berpengaruh terhadap stabilitas agregat tanah (Paul dan Clark, 1989).

PENGUKURAN ERODIBILITAS TANAH

Erodibilitas tanah sangat penting untuk diketahui agar tindakan konservasi dan pengelolaan tanah dapat dilaksanakan secara lebih tepat dan terarah. Namun demikian, Veiche (2002) menyatakan bahwa konsep dari erodibilitas tanah dan bagaimana cara menilainya merupakan suatu hal yang bersifat kompleks atau tidak sederhana, karena erodibilitas dipengaruhi oleh banyak sekali sifat-sifat tanah. Berbagai usaha telah banyak dilakukan untuk mendapatkan suatu indeks erodibilitas tanah yang relatif lebih sederhana, baik didasarkan pada sifat-sifat tanah yang ditetapkan di laboratorium maupun di lapangan, atau berdasarkan keragaan (*response*) terhadap hujan (Arsyad, 2000).

Wischmeier dan Smith (1978) telah mengembangkan konsep erodibilitas tanah yang cukup populer, dalam hal ini faktor erodibilitas tanah (K) didefinisikan sebagai besarnya erosi persatuan indeks erosi hujan untuk suatu tanah dalam keadaan standar, yakni tanah terus-menerus diberakan (*fallow*) terletak pada lereng sepanjang 22 m, berlereng 9% dengan bentuk lereng seragam. Dari hasil percobaan sistem petak kecil/standar tersebut, nilai erodibilitas tanah dapat dihitung dengan persamaan:

$$K = A/R,$$

dimana:

K = faktor erodibilitas tanah
A = erosi tanah (t ha⁻¹ tahun⁻¹)
R = faktor erosivitas curah hujan

Tinggi rendahnya tingkat erodibilitas tanah (dapat disebut sebagai kelas erodibilitas tanah), berdasarkan rekomendasi USDA-SCS (1973, *dalam* Dangler dan El-Swaify, 1976) dibagi ke dalam enam kelas erodibilitas tanah (Tabel 1) sebagai berikut:

Tabel 1. Kelas erodibilitas tanah menurut USDA-SCS (1973 *dalam* Dangler dan El-Swaify, 1976)

Kelas USDA-SCS	Nilai K	Uraian kelas
1	0 – 0,10	Sangat rendah
2	0,11 – 0,20	Rendah
3	0,21 – 0,32	Sedang
4	0,33 – 0,43	Agak tinggi
5	0,44 – 0,55	Tinggi
6	0,56 – 0,64	Sangat tinggi

Berdasarkan konsep tersebut, yaitu dengan menggunakan hasil pengukuran petak standar, Dangler dan El-Swaify (1976) telah menghitung nilai K untuk berbagai jenis tanah yang berasal dari bahan induk bahan vulkan dan abu vulkan di Pulau Oahu dan Pulau Hawaii, Kepulauan Hawaii (19-22° LU), yang merupakan wakil dari tanah-tanah di daerah tropika, sebagai berikut (Tabel 2).

Selanjutnya, El-Swaify dan Dangler (1976) melakukan uji korelasi nilai K dengan beberapa sifat tanah. Hasil uji korelasi menunjukkan bahwa kejenuhan basa, parameter ukuran besar butir/tekstur (liat, debu, pasir, dan pasir sangat halus), kandungan mineral amorf, dan stabilitas agregat tanah sangat berkorelasi dengan nilai K (erodibilitas tanah).

Tabel 2. Erodibilitas tanah beberapa jenis tanah di Pulau Oahu dan Pulau Hawaii, Amerika Serikat

Tanah		Lokasi	Bahan induk	Faktor erodibilitas tanah (K)		
Ordo	Great group			Kisaran	Rata-rata kelas tertimbang	
Ultisol	Tropohumult	Pulau Oahu	Bahan vulkan	0,00 – 0,00	0,00	sr
	Tropohumult	Pulau Oahu	Bahan vulkan	0,02 – 0,14	0,09	sr
Inceptisol	Ustropept	Pulau Oahu	Bahan vulkan	0,03 – 0,41	0,19	r
Andisol	Hydrudand	Pulau Hawaii	Abu vulkan	0,07 – 0,08	0,07	sr
	Dystrudand	Pulau Hawaii	Abu vulkan	0,12 – 0,22	0,17	r
	Eutrudand	Pulau Hawaii	Abu vulkan	0,16 – 0,26	0,21	sd
	Eutrudand	Pulau Hawaii	Abu vulkan	0,51 – 0,60	0,55	t
Oxisol	Eustrustox	Pulau Oahu	Bahan vulkan	0,09 – 0,20	0,14	r
	Torrox	Pulau Oahu	Bahan vulkan	0,09 – 0,22	0,15	r
	Torrox	Pulau Oahu	Bahan vulkan	0,19 – 0,27	0,22	sd
Vertisol	Chromustert	Pulau Oahu	Bahan vulkan	0,26 -0,31	0,30	sd
Aridisol	Camborthid	Pulau Hawaii	Abu vulkan	0,34 – 0,36	0,35	at

Sumber: Dangler dan El-Swaify (1976); Rata-rata tertimbang (*mean weighted value*).
Keterangan: t = tinggi, at = agak tinggi, sd = sedang, r = rendah, sr = sangat rendah

Undang Kurnia dan Suwardjo (1984) melaporkan hasil perhitungan faktor erodibilitas tanah pada berbagai jenis tanah di beberapa lokasi percobaan di Pulau Jawa (Tabel 3). Hasil percobaan erosi dengan menggunakan petak standar pada berbagai jenis tanah tersebut menunjukkan adanya variasi erodibilitas tanah untuk jenis tanah yang berbeda.

Bila dihubungkan dengan sifat-sifat tanah, yakni sifat fisik tanah dan kandungan bahan organik tanah (Tabel 4), Undang Kurnia dan Suwardjo (1984) menerangkan bahwa sangat rendahnya nilai erodibilitas tanah pada Oxisol (Latosol) Darmaga dan Oxisol (Latosol) Citayam, disebabkan oleh agregat tanah yang stabil, struktur tanah remah dan permeabilitas tanah sedang sampai agak cepat, sehingga dapat menyebabkan tingginya kapasitas infiltrasi.

Entisol (Regosol) Tanjungharjo dan Ultisol (Podsolik) Jonggol, mempunyai erodibilitas tanah lebih tinggi (0,14-0,16), disebabkan oleh kandungan debu cukup tinggi (26-30%) dan C-organik sangat rendah (0,73-1,42%). Nilai erodibilitas tanah pada Alfisol (Mediteran) Punung dan Putat, serta Vertisol (Grumusol) Jegu yang relatif tinggi (0,22-0,27) disebabkan oleh tingginya kandungan fraksi debu (63-76%). Penelitian Wischmeier dan Mannering (1969) serta Morgan (1979),

menunjukkan bahwa pasir halus dan debu merupakan patikel-partikel tanah yang berpengaruh pada kepekaan tanah terhadap erosi. Tanah akan lebih mudah tererosi, apabila mempunyai kandungan debu tinggi disertai dengan bahan organik rendah, dan tanah dengan kandungan debu 40-60% sangat peka terhadap erosi. Selain itu, stabilitas agregat yang rendah, permeabilitas lambat, dan relatif rendahnya kandungan bahan organik tanah diperkirakan merupakan penyebab tingginya tingkat erodibilitas tanah pada ketiga tanah tersebut.

Tabel 3. Erodibilitas tanah beberapa jenis tanah di Jawa

Jenis tanah		Lokasi	Bahan induk	Faktor kepekaan erosi (K)		
Ordo	Great group (padanan)			Kisaran	rata-rata	Kelas
Oxisol	Haplorthox (Latosol)	Darmaga, Bogor	Tufa vulkan	0,02–0,04	0,03	sr
	Haplorthox (Latosol)	Citayam, Bogor	Tufa vulkan	0,08–0,09	0,09	sr
Ultisol	Tropohumult (Mediteran)	Citaman, Bandung	Tufa vulkan	0,09–0,11	0,10	sr
	Tropudult (Podsolik)	Jonggol, Bogor	Batuliat	0,12–0,19	0,16	r
Entisol	Troporthent (Regosol)	Tanjung Harjo, Kulon Progo	Batuliat berkapur	0,11–0,16	0,14	r
Alfisol	Tropaqualf (Mediteran)	Punung, Pacitan	Breksi berkapur	0,18–0,25	0,22	sd
	Tropudalf (Mediteran)	Putat, Gn. Kidul	Breksi berkapur	0,16–0,29	0,23	sd
Vertisol	Chromudert (Grumosol)	Jegu, Blitar	Napal	0,24-0,30	0,27	sd

Sumber: Undang Kurnia dan Suwardjo (1984).
Keterangan: sd=sedang, r=rendah, sr=sangat rendah

Perbedaan nilai erodibilitas tanah pada beberapa jenis tanah di Jawa (Tabel 3), selain disebabkan oleh perbedaan sifat fisik, juga dapat dihubungkan dengan jenis liat yang dominan pada masing-masing tanah. Kandungan *sesquioksida* yang tinggi pada tanah Oxisol Darmaga dan Citayam, Bogor merupakan salah satu sebab relatif lebih rendahnya nilai erodibilitas tanah di kedua lokasi tersebut. Sedangkan dominasi kandungan liat smektit yang mudah mengembang, seperti pada Vertisol Jegu, Blitar berkontribusi terhadap tingginya nilai erodibilitas tanah di lokasi penelitian ini.

Tabel 4. Sifat fisik tanah beberapa jenis tanah di Pulau Jawa

Tanah		Lokasi	Tekstur				C-org	Struktur	Permea- -bilitas
Ordo	Great group (padanan)		Pasir	Pasir halus	Debu	Liat			
%									
Oxisol	Haplorthox (Latosol)	Darmaga Bogor	0,2	3,1	19,7	77,0	1,01	Remah halus	Agak cepat
	Haplorthox (Latosol)	Citayam, Bogor	1,0	0,4	18,7	79,9	2,00	Remah halus	Sedang
Ultisol	Tropohumult (Mediteran)	Citakan, Bandung	0,1	5,4	26,5	68,0	2,51	Butir- gumpal	Sedang
	Tropudult (Podsolik)	Jonggol, Bogor	5,4	22,9	29,5	42,2	1,42	Gumpal	Lambat
Entisol	Troporthent (Regosol)	Tanjungharjo , Kulon Progo	0,6	2,1	26,1	71,2	0,73	Remah	Lambat
Alfisol	Tropaqualf (Mediteran)	Punung, Pacitan	0,1	5,9	28,3	65,7	1,72	Gumpal	Lambat
	Tropudalf (Mediteran)	Putat, Gunung Kidul	0,1	2,9	20,5	76,4	0,63	Gumpal	Lambat
Vertisol	Chromudert (Grumusol)	Jegu, Blitar	0,6	17,4	18,7	63,3	0,81	Gumpal	Lambat

Sumber: Undang Kurnia dan Suwardjo (1984).

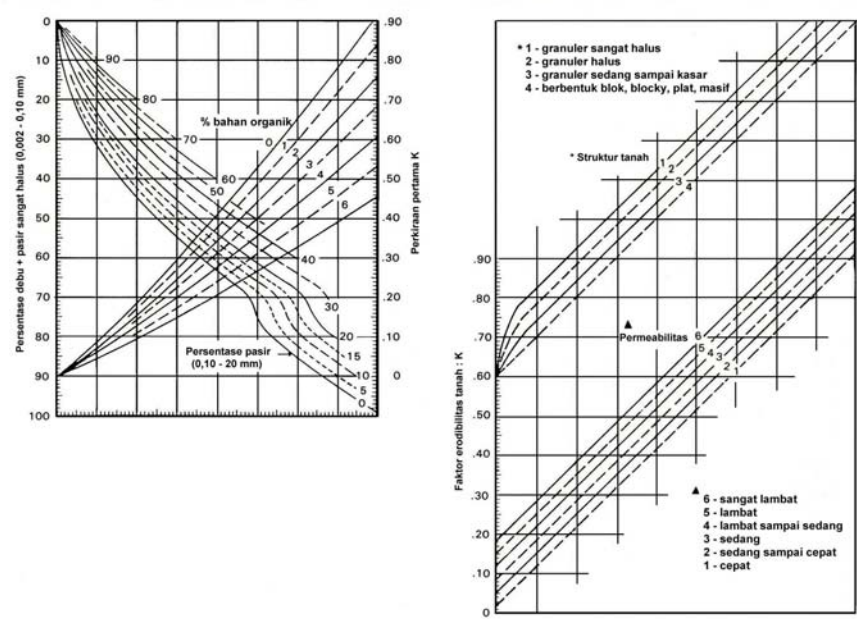
PREDIKSI ERODIBILITAS TANAH

Faktor erodibilitas tanah yang diperoleh dari hasil percobaan sifatnya sangat spesifik lokasi. Konsekuensinya, untuk mendapatkan faktor erodibilitas tanah, banyak sekali percobaan yang harus dilakukan, sehingga menghabiskan banyak waktu dan biaya, juga akan diperlukan banyak sekali plot-plot percobaan. Suatu pendekatan yang lebih sederhana dilakukan adalah dengan menggunakan model prediksi, dengan *input* data sifat-sifat tanah yang mudah diukur, dan mempunyai korelasi kuat dengan erodibilitas tanah (El-Swaify dan Dangler, 1976).

Model prediksi erodibilitas tanah yang telah banyak diaplikasikan oleh para praktisi untuk keperluan perencanaan penggunaan lahan dan konservasi tanah, adalah model yang dikembangkan oleh Wischmeier *et al.* (1971) atau dikenal dengan sebutan faktor K-USLE, dalam hal ini nilai erodibilitas tanah ditetapkan dengan menggunakan nomograf (Gambar 1) atau persamaan berikut ini:

$$100 K = 1,292[2,1M^{1,14}(10^{-4})(12-a)+3,25(b-2)+2,5(c-3)] ,$$

dimana: K = erodibilitas tanah; M = (persentase pasir sangat halus dan debu) $\times$ (100-persentase liat); a = persentase bahan organik (% C-organik $\times$ 1,724); b = kode struktur tanah; c = kode kelas permeabilitas penampang tanah.



Gambar 1. Nomograf erodibilitas tanah (K), satuan metrik (Arnoldus, 1977; Wischmeier *et al.*, 1971)

Tabel 5 menyajikan perbandingan nilai erodibilitas tanah yang diperoleh dari hasil prediksi dan hasil pengukuran pada beberapa seri tanah di Amerika. Wischmeir *et al.* (1971) menyimpulkan bahwa untuk tanah-tanah di Amerika, hasil pendugaan nilai faktor erodibilitas tanah dengan menggunakan nomograf berkorelasi baik dengan nilai erodibilitas yang didapat dari hasil pengukuran. Hasil penelitian Undang Kurnia *et al.* (1986) juga menunjukkan bahwa nilai erodibilitas tanah yang ditetapkan dengan menggunakan nomograf sangat mendekati rata-rata nilai erodibilitas tanah yang didapat dari hasil pengukuran pada petak standar (Tabel 6).

Tabel 5. Perbandingan nilai erodibilitas tanah (K) yang diperoleh dari hasil prediksi dan hasil pengukuran pada beberapa *benchmark soil* di Amerika (Wischmeier *et al.*, 1971)

Tanah	Nilai K prediksi*	Nilai K pengukuran
Austin c. Temple, Tex	0,28	0,29
Caribou g I, Maine Presqueb ls., Maine	0,27	0,28
Cecil s I, Statesville, N.C.	0,28	0,28
Fayette si I, La Crosse, Wis.	0,42	0,38
Keene si I, Zanesville, Ohio	0,46	0,48
Lexington si I, Holly springs, Miss	0,45	0,45
Loring si I, Holly spring, Miss	0,49	0,51
Mansic cl, Hays, Kans.	0,33	0,32
Marshall si c I, Crarinda, Iowa	0,32	0,33
Mexico si I, McCredie, Mo.	0,33	0,32
Shelby I, Bethany, Mo.	0,39	0,41
Tifton I s, Tifton, Ga.	0,09	0,10
Zaneis f s I, Guthrie, Okla	0,26	0,22

*Prediksi erodibilitas tanah menggunakan nomograf Wishmeier *et al.*, 1971

Tabel 6. Nilai faktor K berdasarkan hasil pengukuran petak standar dan dengan menggunakan nomograf (Undang Kurnia *et al.*, 1986)

Tanah	Kelas tekstur	Lokasi/lereng (%)	K-pengukuran		K-nomograf
			Kisaran	Rata-rata	
Haplorthox	Liat berat	Darmaga (Jabar)/15	0,02-0,05	0,04	0,05
Haplorthox	Liat berat	Citayam (Jabar)/14	0,06-0,09	0,08	0,09
Troporthent	Liat	Tanjungharjo (DIY)/10	0,11-0,16	0,14	0,16
Chromudert	Liat	Jegu (Jatim)/7	0,24-0,30	0,27	0,27
Tropudult	Liat	Pekalongan (Lampung)/3,5	0,14-0,27	0,19	0,19
Tropohumult	Liat	Citaman (Jabar)/14	0,09-0,11	0,10	0,12
Tropaqualf	Liat berat	Putat (DIY)/9	0,16-0,29	0,23	0,21
Tropudalf	Liat	Punung (Jatim)/10	0,18-0,25	0,22	0,22

Meskipun USLE telah diterapkan secara luas di negara-negara Eropa, Afrika dan Asia (Undang Kurnia *et al.*, 1986), namun validasi dari parameter-parameter yang digunakan dalam model ini, termasuk parameter erodibilitas tanah masih banyak dipertanyakan. Bradford *et al.* (1987a) menyatakan bahwa prediksi faktor erodibilitas tanah dengan menggunakan model USLE sifatnya terbatas, yakni hanya berlaku (*valid*) untuk tanah-tanah tertentu. Model tersebut juga tidak memperhitungkan kondisi permukaan tanah yang dapat berubah secara temporal. Roose (1977) juga menyatakan bahwa model tersebut hanya

dapat diterapkan untuk tanah-tanah yang didominasi oleh mineral liat kaolinit (tipe liat 1:1), yaitu untuk tanah-tanah yang tergolong stabil. Untuk tanah-tanah yang tidak stabil yang dicirikan oleh banyaknya kandungan mineral liat smektit (tipe liat 2:1) yang mudah mengembang/mengkerut seperti Vertisol, atau pada Entisol yang didominasi fraksi pasir kasar, perhitungan faktor erodibilitas tanah (K) dengan menggunakan persamaan di atas dinilai kurang tepat (Roose, 1977; Vanelslade *et al.*, 1987 dalam Veiche, 2002).

Beberapa model yang sifatnya lebih spesifik telah dikembangkan oleh beberapa peneliti. Roth *et al.* (1974) mengembangkan suatu persamaan untuk menduga erodibilitas tanah yang kaya sesquioxida, sebagai berikut:

$$K = 0,32114 + 2,0167 \times 10^{-4} M - 0,14444 (\% \text{Fe}_2\text{O}_3 + \% \text{Al}_2\text{O}_3) - 0,83686 (\% \text{SiO}_2),$$

dimana: K = faktor erodibilitas tanah, M = (% debu + % pasir sangat halus)(100-% liat)

Model lainnya yang ditujukan untuk tanah-tanah kaya sesquioxida dikembangkan oleh Romkens *et al.* (1977), yakni sebagai berikut:

$$K = 0,04 + 0,00023 M - 0,108 (\% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3),$$

dimana K = faktor erodibilitas tanah, M = (% debu + % pasir sangat halus)(100-% liat)

Abdurachman (1989) memodifikasi persamaan Wischmeier *et al.* (1971), dengan memasukkan parameter stabilitas agregat dan berat isi tanah, persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$K = 3,075 + 3,2310^{-4} X_1 - 0,024 X_2 - 2,418 X_3 + 0,068 (12 - X_4) - 0,07 (X_5 - 3) - 0,135 (X_6 - 2),$$

dimana: K = faktor erodibilitas tanah, X_1 =parameter M, X_2 =stabilitas agregat (indeks stabilitas agregat x %agregat>2mm), X_3 =berat isi (g cm^{-3}), X_4 =kandungan bahan organik tanah, X_5 =kelas permeabilitas profil tanah, X_6 =kode struktur tanah

Selanjutnya Abdurachman (1989) menyatakan, meskipun persamaan di atas dibangun berdasarkan hasil beberapa percobaan (empirik), namun masih perlu dilakukan pengujian untuk beberapa jenis tanah lainnya.

PENDEKATAN PEDOGENESIS DALAM PENENTUAN ERODIBILITAS TANAH SECARA SPASIAL

Dalam perencanaan penggunaan lahan dan penerapan teknik konservasi tanah, penentuan erodibilitas tanah secara spasial sangat diperlukan. Beberapa peneliti telah mencoba mengevaluasi kemungkinan penggunaan peta tanah untuk menentukan erodibilitas tanah secara spasial. Masalah umum yang dijumpai, adalah bahwa sistem penamaan tanah (klasifikasi tanah) yang ada saat ini sering tidak didasarkan pada parameter-parameter yang dapat menggambarkan erodibilitas tanah (Roose dan Sarralih, 1990 *dalam* Veiche, 2002). Folly (1995 *dalam* Marwanto, 2004) juga menyatakan bahwa secara umum penentuan spasial (ruang) erodibilitas tanah berdasarkan peta tanah tidak bisa dilakukan, karena sifat-sifat tanah sebagai dasar penentuan klasifikasi tanah tidak mencerminkan hubungan dengan erodibilitas tanah.

Tabel 7 menyajikan nilai erodibilitas tanah beberapa jenis tanah yang dikumpulkan dari berbagai penelitian. Oxisol umumnya mempunyai sifat fisik tanah yang baik, sehingga umumnya mempunyai nilai erodibilitas yang sangat rendah sampai rendah. Hal ini dibuktikan dari hasil pengukuran erosi dengan menggunakan petak kecil yang dilakukan di Citayam dan Darmaga, Kabupaten Bogor, serta pada tanah di Pulau Oahu. Namun demikian masih dijumpai pula tanah Oxisol yang mempunyai erodibilitas tanah tergolong sedang.

Tanah-tanah Andisol yang mempunyai sifat andik juga mempunyai sifat fisik yang baik, diduga erodibilitas tanah-tanah seperti ini umumnya sangat rendah sampai rendah. Namun data nilai erodibilitas tanah dari P. Oahu dan P. Hawaii menunjukkan bahwa tingkat pelapukan tanah ikut berperan dalam meningkatkan erodibilitas tanah, sehingga sebagian Andisol menunjukkan tingkat erodibilitas sedang sampai tinggi (Tabel 7).

Tanah-tanah Vertisol (Grumusol) diperkirakan mempunyai erodibilitas tanah relatif tinggi, karena tingginya kandungan liat smektit yang mudah mengembang/mengkerut (*shrink-swell potential*). Hasil pengukuran erodibilitas tanah yang dilakukan pada beberapa jenis tanah di Jawa (Undang Kurnia dan Suwardjo, 1984) dan pada beberapa jenis tanah di Pulau Oahu dan P. Hawaii (Dangler dan El-Swaify, 1976) menunjukkan bahwa secara umum tanah-tanah Vertisol mempunyai erodibilitas yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan jenis tanah lainnya (Tabel 7).

Dari segi stabilitas agregat tanah, Ultisol merupakan tanah yang stabil, akibat agregasi tanah bertekstur liat dengan senyawa oksida Fe dan Al yang banyak terdapat pada tanah tersebut. Namun demikian, adanya lapisan argilik yang dapat menghambat peresapan air ke dalam tanah, diperkirakan tanah ini mempunyai erodibilitas tanah relatif tinggi. Namun demikian, data pada Tabel 7

menunjukkan masih adanya variasi erodibilitas yang cukup tinggi untuk tanah Ultisol, yakni berkisar dari sangat rendah sampai agak tinggi. Bahan organik menunjukkan peran yang besar dalam menentukan tingkat erodibilitas tanah. Ultisol yang mempunyai kandungan bahan organik tinggi (termasuk sub-ordo Humult) umumnya mempunyai erodibilitas tanah sangat rendah (Tabel 7).

Sifat-sifat tanah, termasuk di dalamnya sifat tanah yang berpengaruh terhadap erodibilitas tanah sangat dipengaruhi oleh faktor dan proses pembentukan tanah (pedogenesis). Oleh karena itu, meskipun untuk beberapa jenis tanah seringkali sulit untuk menghubungkan antara nama tanah (hasil klasifikasi tanah) dan erodibilitas tanah, namun dari data pedogenesis yang umumnya digunakan untuk dasar klasifikasi tanah, kemungkinan tingkat erodibilitas tanah dapat diperkirakan, sehingga data hasil survei tanah dapat dimanfaatkan secara maksimal, khususnya dalam perencanaan penggunaan lahan dan konservasi tanah.

Jenny (1941) menjelaskan bahwa tanah terbentuk dari hasil interaksi dari lima faktor pembentuk tanah, yaitu iklim, vegetasi, organisme, relief, bahan induk dan waktu. Di berbagai tempat sering ditemukan bahwa hanya satu faktor pembentuk tanah saja yang jelas pengaruhnya (Hardjowigeno, 1993). Contoh dominansi salah satu faktor pembentuk tanah dalam menentukan sifat-sifat tanah ditunjukkan oleh tanah di Sumberjaya, Lampung Barat. Hasil penelitian Subagyo *et al.* (2004) menunjukkan bahwa perbedaan sifat-sifat tanah (termasuk sifat-sifat tanah yang menentukan tingkat erodibilitas tanah) di daerah Sumberjaya dominan ditentukan oleh bahan induk tanah.

Tabel 7. Faktor erodibilitas tanah berbagai jenis tanah di Indonesia dan Amerika Serikat

Jenis tanah		Lokasi	Faktor erodibilitas tanah (K)			Sumber data
			Kisaran	Rata-rata	Kelas	
Oxisol	Haplorthox (Latosol)	Darmaga, Bogor ¹⁾	0,02–0,04	0,03	sr	Undang K.dan Suwardjo (1984)
	Haplorthox (Latosol)	Citayam, Bogor ¹⁾	0,08–009	0,09	sr	Undang K. dan Suwardjo (1984)
	Eutrustox	Pulau Oahu, ¹⁾	0,09–0,20	0,14	r	Dangler dan El-Swaify (1976)
	Torrox	Pulau Oahu, ¹⁾	0,09–0,22	0,15	r	Dangler dan El-Swaify (1976)
	Torrox	Pulau Oahu ¹⁾	0,19–0,27	0,22	sd	Dangler dan El-Swaify (1976)
Entisol	Fluvent (Regosol)	DAS Cimanuk	0.17-0.21	0.19	r	Hamer (1980)
	Troporthent (Regosol)	Tanjungharjo, Kulon Progo ¹⁾	0,11–0,16	0,14	r	Undang K.dan Suwardjo (1984)
Ultisol	Tropohumult	Pulau Oahu ¹	0,00–0,00	0,00	sr	Dangler dan El-Swaify (1976)
	Tropohumult	Pulau Oahu ¹	0,02–0,14	0,09	sr	Dangler dan El-Swaify (1976)
	Tropohumult (Mediteran)	Citaman, Bndng ¹⁾	0,09–0,11	0,10	sr	Undang K. dan Suwardjo (1984)
	Haplohumult (Podsolik)	DAS Cimanuk ²⁾	0.13-0.19	0.16	r	Hamer (1980)
	Tropudult (Podsolik)	Jonggol, Bogor ¹⁾	0,12–0,19	0,16	r	Undang K.dan Suwardjo (1984)
	Hapludult (Nitosol)	DAS Cimanuk ²⁾	--	0.17	r	Hamer (1980)
	Hapludult (Nitosol)	DAS Cimanuk ²⁾	0.17-0.21	0.19	r	Hamer (1980)
	Hapludult (Nitosol)	DAS Cimanuk ²⁾	0.28-0.28	0.28	sd	Hamer (1980)
	Hapludult	Sumberjaya, Lampung ²⁾	--	0.39	at	Subagyono <i>et al.</i> (2004)
Alfisol	Endoaquult	DAS Cimanuk ²⁾	0.42-0.42	0.42	at	Hamer (1980)
	Hapludalf (Mediteran)	DAS Cimanuk ²⁾	0.13-0.13	0.13	r	Hamer (1980)
	Hapludalf (Mediteran)	DAS Cimanuk ²⁾	0.14-0.18	0.16	r	Hamer (1980)
	Hapludalf (Mediteran)	DAS Cimanuk ²⁾	0.17-0.23	0.20	r	Hamer (1980)
	Tropaqualf (Mediteran)	Punung, Pacitan ¹⁾	0,18–0,25	0,22	sd	U. Kurnia dan Suwardjo (1984)
	Tropudalf (Mediteran)	Putat, Gn. Kidul ¹⁾	0,16–0,29	0,23	sd	Undang K. dan Suwardjo (1984)
	Endoaqualf	DAS Cimanuk ²⁾	0.24-0.32	0.28	sd	Hamer (1980)

Tabel 7 (lanjutan)

Jenis tanah		Lokasi	Faktor erodibilitas tanah (K)			Sumber data
			Kisaran	Rata-rata	Kelas	
Andisol	Hapludand	Sumberjaya, Lampung ²⁾	--	0,05	sr	Subagyo <i>et al.</i> (2004)
	Hydrudand	Pulau Hawaii ¹⁾	0,07–0,08	0,07	sr	Dangler dan El-Swaify (1976)
	Dystrudand	Pulau Hawaii ¹⁾	0,12–0,22	0,17	r	Dangler dan El-Swaify (1976)
	Eutrudand	Pulau Hawaii ¹⁾	0,16–0,26	0,21	sd	Dangler dan El-Swaify (1976)
	Hapludand (Andosol)	DAS Cimanuk ²⁾	0.24-0.38	0.31	sd	Hamer (1980)
	Hapludand (Andosol)	DAS Cimanuk ²⁾	0.23-0.41	0.32	sd	Hamer (1980)
	Eutrudand	Pulau Hawaii ¹⁾	0,51–0,60	0,55	t	Dangler dan El-Swaify (1976)
Inceptisol	Dystropept	Sumberjaya, Lampung ²⁾	--	0,15	r	Dariah (2004)
	Ustropep	Pulau Oahu, Hawai	0,03–0,41	0,19	r	Dangler-El-Swaify (1976)
	Dystrudept (Kambisol)	DAS Cimanuk ²⁾	0.21-0.21	0.21	sd	Hamer (1980)
	Eutrudept (Kambisol)	DAS Cimanuk ²⁾	0.20-0.38	0.29	sd	Hamer (1980)
	Aquept (Gleisol)	DAS Cimanuk ²⁾	0.27-0.35	0.31	sd	Hamer (1980)
	Aquept (Gleisol)	DAS Cimanuk ²⁾	0.17-0.47	0.32	sd	Hamer (1980)
Vertisol	Chromudert (Grumusol)	DAS Cimanuk ²⁾	0.24-0.24	0.24	sd	Hamer (1980)
	Chromudert (Grumusol)	Jegu, Blitar ¹⁾	0,24-0,30	0,27	sd	Undang K. & Suwardjo (1984)
	Chromustert	Pulau Oahu ¹⁾ , Hawai ¹⁾	0,26-0,31	0,30	sd	Dangler & El-Swaify (1976)

Keterangan: sr = sangat rendah, r = rendah, sd = sedang, at = agak tinggi, dan t = tinggi.¹⁾hasil pengukuran dengan petak standar, ²⁾perhitungan dengan menggunakan nomograf Weischmeier *et al.* (1971)

Hubungan antara Bahan Induk Tanah dan Sifat Fisik Tanah: Sebagai dasar penentuan erodibilitas tanah secara spasial

Pengaruh dan hubungan sifat-sifat bahan induk dengan sifat-sifat tanah terlihat jelas pada tanah-tanah di daerah kering, atau pada tanah-tanah muda yang belum banyak berkembang. Di daerah yang lebih basah atau pada tanah-tanah yang sudah berkembang lanjut, hubungan antara sifat bahan induk dan sifat-sifat tanah menjadi kurang jelas. Walaupun demikian, tidak berarti bahwa pada tanah-tanah yang sudah berkembang lanjut, pengaruh sifat-sifat bahan induk menjadi hilang (Hardjowigeno, 1993). Selanjutnya disebutkan pengaruh bahan induk terhadap sifat-sifat tanah diantaranya adalah:

- a. Tekstur bahan induk mempunyai pengaruh langsung terhadap tekstur tanah muda. Bahan induk pasir menghasilkan tanah muda yang berpasir juga.
- b. Tekstur yang dipengaruhi mineral yang sukar lapuk seperti pasir kuarsa, tetap terlihat (atau berpengaruh) pada tanah-tanah tua.
- c. Bahan induk dengan tekstur halus membentuk tanah dengan kandungan bahan organik lebih tinggi daripada bahan induk yang ber tekstur kasar. Pada bahan induk yang ber tekstur halus, air tersedia tinggi, tanaman dapat tumbuh baik, sehingga banyak tambahan bahan organik.
- d. Kalau tekstur bahan induk terlalu halus, dengan kadar liat relatif tinggi, maka permeabilitas tanah menjadi sangat lambat, yang berakibat pencucian dan pemindahan koloid tanah menjadi terhambat, sehingga terbentuk tanah dengan solum tipis. Apabila bahan induk seperti ini terdapat pada daerah berlereng, karena permeabilitas tanahnya lambat, maka limpasan/aliran permukaan akan meningkat, sehingga erosi cukup besar dan terbentuklah tanah bersolum tipis.
- e. Bahan induk jenis mafik (yang banyak mengandung basa-basa) dapat menyebabkan pembentukan mineral liat smektit/montmorillonit. Pada wilayah bercurah hujan rendah, smektit/montmorillonit dapat juga terbentuk pada bahan induk felsik (dengan kandungan basa-basa rendah). Kalau bahan induk felsik banyak mengandung mineral mika, dapat terbentuk mineral liat ilit. Terbentuknya mineral liat lain, seperti kaolinit, lebih banyak dipengaruhi oleh besarnya curah hujan.

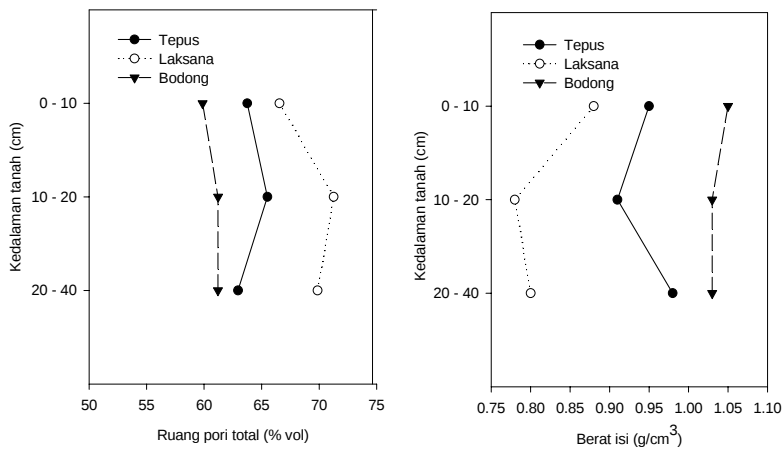
Eratnya hubungan antara bahan induk dan sifat-sifat tanah termasuk sifat-sifat tanah yang menentukan erodibilitas tanah ditunjukkan oleh hasil penelitian yang dilakukan oleh Subagyono *et al.* (2004) di daerah Sumberjaya, Lampung Barat. Hasil penelitian ini juga sekaligus dapat menerangkan faktor penyebab adanya variabilitas sifat fisik tanah di daerah ini, yang mana hal ini berdampak

pada perbedaan tingkat erosi yang terjadi, seperti yang ditunjukkan oleh hasil peneltian Dariah *et al.* (2003) dan Widianto *et al* (2003). Pada kondisi curah hujan, topografi, vegetasi dan pengelolaan yang reratif sama, tingkat erosi yang terjadi di tiga lokasi penelitian sangat berbeda (Tabel 8). Berdasarkan hasil pengamatan lebih mendalam terhadap sifat-sifat tanah, disimpulkan bahwa perbedaan tingkat erosi pada beberapa areal kopi di lokasi ini disebabkan oleh perbedaan tingkat erodibilitas tanahnya, dan faktor ini sangat ditentukan oleh sifat-sifat fisik tanah seperti berat isi, ruang pori total, permeabilitas, dan distribusi pori tanah (Gambar 2 dan 3).

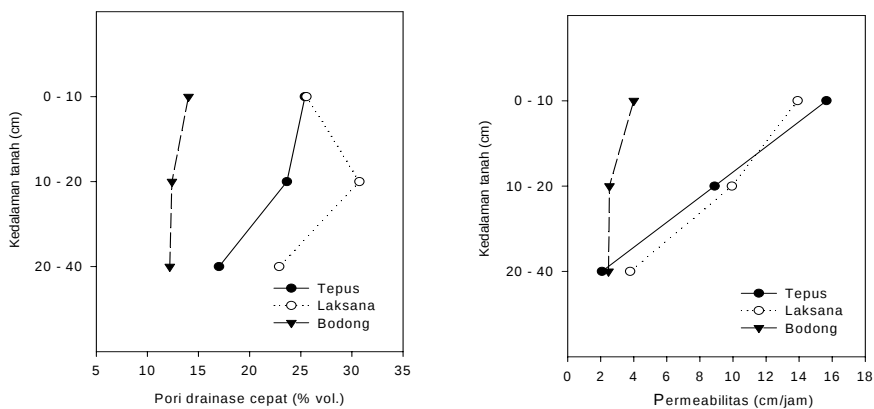
Tabel 8. Erosi pada lahan usaha tani kopi umur 3 tahun, di Kecamatan Sumberjaya, Lampung Barat

Lokasi	Ketinggian tempat	Lereng	Curah hujan*	Erosi*
	m dpl	%	mm	t ha ⁻¹
Bodong	830	60-70	458	37,21
Tepus	820	57-66	434	0,42
Laksana	820	56-68	571	0,02

* Waktu pengamatan curah hujan dan erosi di Bodong: Mei - Juli 2001 (Widianto *et al.*,2002); Laksana dan Tepus: Mei - Juli 2002 (Dariah *et al.*, 2003)



Gambar 2. Ruang pori total dan berat isi tanah pada tiga kedalaman tanah di Tepus, Laksana dan Bodong, Kecamatan Sumberjaya, Lampung Barat (Sumber: Dariah *et al.*, 2003)



Gambar 3. Pori drainase cepat dan permeabilitas tanah pada tiga kedalaman tanah di Tepus, Laksana dan Bodong, Kecamatan Sumberjaya, Lampung Barat (Sumber: Dariah et al., 2003)

Selanjutnya dari hasil penelitian lanjutan yang dilakukan oleh Subagyono et al. (2004) dan Marwanto et al. (2004) di daerah ini menunjukkan bahwa tanah-tanah yang mempunyai sifat fisik tergolong baik berkembang dari abu vulkan yang berasal dari erupsi gunung-gunung di sekitarnya, seperti Gunung Subhanallah dan Gunung Sekincau. Sebagai contoh ditunjukkan oleh pedon AR 74, AR 63 dan TB 2 (Tabel 9), rata-rata berat isi tanah tersebut <0,8 g cm⁻³, rata-rata ruang pori mencapai 70% vol, dengan rata-rata pori drainase cepat juga tergolong tinggi. Sebaliknya tanah-tanah yang mempunyai sifat fisik relatif lebih buruk berkembang dari bahan induk tufa Ranau, salah satu contohnya ditunjukkan oleh pedon HS 8 (Tabel 9).

Tingkat pelapukan juga berperan dalam menentukan sifat fisik tanah. Tanah yang berkembang dari bahan vulkan tua cenderung lebih padat dicerminkan oleh berat isi lebih besar dari 0,9 g cm⁻³, konsistensi teguh dan tekstur berat, pori drainase cepat juga relatif lebih rendah, contohnya ditunjukkan oleh pedon AR 25 dan AR 51. Tanah-tanah yang mulanya berkembang dari bahan induk tufa dan lava, namun kemudian ditutup oleh bahan abu vulkan seperti pedon TB 9 masih mempunyai sifat fisik (di permukaan) relatif baik. Pedon IK 7 hampir sama dengan TB 9, yakni merupakan tanah berkembang dari bahan induk tufa dan lava, kemudian ditutup oleh bahan abu vulkan, namun demikian sifat fisik tanah yang dihasilkan relatif lebih buruk (Tabel 9). Hal ini kemungkinan disebabkan karenan lapisan tanah yang berkembang dari bahan vulkan sangat tipis. Perbedaan ketebalan penutupan oleh bahan baru dapat disebabkan oleh

relief yang tidak rata akibat kejadian geomorfik sekunder. Tanah yang berkembang dari bahan induk granit (contoh pedon HS3) juga mempunyai sifat fisik tanah yang relatif buruk jika dibandingkan dengan tanah yang berkembang dari abu vulkan, meskipun ruang pori total masih >60% vol, namun karena pori drainase cepat sangat rendah, maka penyerapan air ke dalam tanah menjadi lambat. Hasil penelitian ini menunjukkan adanya peluang untuk menggunakan parameter bahan induk tanah sebagai penentu batas tingkat erodibilitas tanah secara spasial (melakukan delineasi lahan berdasarkan tingkat erodibilitasnya). Namun demikian, perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan mengambil lokasi dan jenis bahan induk yang lebih bervariasi.

Tabel 9. Sifat-sifat fisik tanah berbagai pedon tanah di Sumberjaya, Lampung Barat

Kode pedon/bahan induk	Berat isi	Ruang pori total	Pori drain		Permea- bilitas	Teks- tur
			cepat	lambat		
	g cm ⁻³	————	% vol	————	cm jam ⁻¹	
AR 25/tufa dan lava vulkan tua	0,96	63,8	12,7	4,9	7,32	SiCL
AR 51/tufa dan lava vulkan tua (Rigis)	1,04	60,8	15,8	4,3	5,76	C
AR 63 /abu vulkan Subahanallah	0,81	69,4	17,8	5,0	11,73	SiC
AR 74/kolovium abu dan tuf vulkan	0,75	71,6	33,3	3,8	12,49	CL
HS 3/granit	0,99	62,8	10,4	5,9	4,10	C
IK 17/tufa dan lava vulkan tua (Rigis)						
tertutup abu vulkan	1,06	60,2	11,8	5,9	1,93	C
TB 2/abu vulkan sekincau	0,77	70,9	34,7	4,0	19,81	SiCL
TB 39/tufa vulkan tertutup abu vulkan	0,91	65,7	25,4	4,3	6,77	SiCL
TB 9/tufa dan lava vulkan tua tertutup						
abu vulkan	0,91	65,7	31,9	4,6	12,88	SiL
HS8 /tufa Ranau	1,04	60,7	13,6	3,6	1,24	SiC

Sumber: Subagyono *et al.*, 2004; Marwanto *et al.* (2004)
Keterangan: C= liat, CL=lempung berliat, SiC=liat berdebu, SiL= lempung berdebu SiCL=lempung liat berdebu,

PENUTUP

Penentuan erodibilitas tanah secara tabular maupun spasial sangat penting, baik dalam hubungannya dengan penetapan tingkat bahaya erosi, maupun dalam penyusunan perencanaan penggunaan lahan dan penerapan teknik konservasi tanah. Penetapan erodibilitas tanah dengan cara melakukan pengukuran di lapangan sulit diaplikasikan untuk areal yang luas dan bervariasi, karena akan dibutuhkan biaya yang tinggi dan waktu yang lama. Penetapan erodibilitas tanah dengan menggunakan model merupakan salah satu jalan

keluar. Beberapa model telah dikembangkan untuk memprediksi tingkat erodibilitas tanah, namun demikian untuk kondisi tanah Indonesia masih diperlukan beberapa pengujian agar diperoleh model yang sesuai. Adanya hubungan yang erat antara bahan induk dan sifat-sifat tanah khususnya sifat-sifat tanah yang berpengaruh terhadap erodibilitas tanah, memberikan suatu peluang digunakannya parameter bahan induk untuk menetapkan erodibilitas tanah secara spasial.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachman, A. 1989. Rainfal Erosivity and Soil Erodibility in Indonesia: Estimation and Variation with Time. Thesis for the Degree of Doctor. Faculty of Agricultural Sciences, Ghent State Univ. Belgium.
- Arsyad, S. 2000. Konservasi Tanah dan Air. Lembaga Sumberdaya Informasi – Institut Pertanian Bogor. IPB Press. Bogor.
- Arnoldus, H.M.J. 1977. Methodology used to determine the maximum potential average annual loss due to sheet and rill erosion in Morocco. *FAO Soil Bulletin* 34: 39-48.
- Bradford, J. M., J. E. W. Ferris, and F. A. Remley. 1987a. Interill soil erosion process: I. Effect of soil sealing on infiltration, run-off, and soil splash detachment. *Soil Sci. Am. J.* 51: 1.566-1.570.
- Bradford, J. M., J. E. W. Ferris, and F. A. Remley. 1987b. Interill soil erosion process: II. Relationship of splash detachment to soil properties. *Soil Sci. Am. J.* 51: 1.571-1.574.
- Dangler, E. W., and S. A. El-Swaify. 1976. Erosion of selected Hawaii soils by simulated rainfall. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 769-773.
- Dariah, A. 2004. Tingkat Erosi dan Kualitas Tanah pada Lahan Usahatani Berbasis Kopi di Sumberjaya, Lampung Barat. Disertasi S3. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Dariah, A., F. Agus, S. Arsyad, Sudarsono, dan Maswar. 2003. Hubungan antara karakteristik tanah dengan tingkat erosi pada lahan usahatani berbasis kopi di Sumberjaya, Lampung Barat. *J. Tanah dan Iklim* No. 21 (Des.):78-86.
- El-Swaify, and D.W. Dangler. 1976. Erodibilities of selected tropical soils in relation to structural and hydrologic parameters. *In* *Soil Erosion: Prediction and Control*. Soil Conservation Society of America. Ankey, Iowa.

- Gintings, A. Ng. 1982. Aliran Permukaan dan Erosi dari Tanah yang Tertutup Tanaman Kopi dan Hutan Alam di Sumberjaya-Lampung Barat. Balai Penelitian Hutan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Bogor. Laporan No:399. (Tidak dipublikasikan)
- Hamer, W. I. 1980. Soil Conservation Consultant Report. Technical Note No.7, FAO Project INS/78/006, Centre for Soil Research, Bogor.
- Hardjowigeno, S. 1993. Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis. Edisi pertama. Akademi Pressindo, Jakarta.
- Hudson, N. 1978. Soil Conservation. Bastford, London.
- Jenny, H. 1941. Factors of Soil Formation. Mc Graw Hill, New York.
- Liebenow, A. M., W. J. Elliot, J. M. Laflen, dan K. D. Kohl. 1990. Interill erodibility: Collection and analysis of data from cropland soils. Am. Soc. Agric. Eng. 33 (6): 1.882-1.887.
- Marwanto, S., C. Tafakresnanto, dan K. Subagyo. 2004. Pendekatan pedogenesis dalam penentuan erodibilitas tanah secara spasial. Kongres MKTI/WASWC *Indonesian Chapter* dan Seminar Nasional Konservasi Tanah, Yogyakarta.
- Meyer, L.D., and W.C. Harmon. 1984. Susceptibility of agricultural soils to interill erosion. Soil Sci. Soc. Am.J. 8:1.152-1.157.
- Morgan, R.C.P. 1979. Soil Erosion. Longman, London and New York.
- Paul, E. A. and F.E. Clark 1989. Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, Inc. London.
- Poesen, J. 1981. Rainwash experiment on the erodibility of loose sediments. Earth Surf. Proc. Landforms 6: 285-307.
- Rachman, A., S. H. Anderson, C. Gantzer, and A. L. Thompson. 2003. Influence of longterm cropping system on soil physical properties related to soil erodibility. Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 637-644.
- Roose, E.J. 1977. Application of the universal soil loss equation of Wischmeier and Smith in West Africa. p. 177-189 *In* Greenland, D.J. (ed.) Soil Conservation and Management in Humid Tropics.
- Romkens, M. J. M., C. B. Roth, and D. W. Nelson. 1977. Erodibility of selected clay subsoils in relation to physical and chemical properties. Soil Sci. Soc. Am. J. 41: 954-960.
- Roth, C. B., D. W. Nelson, and M. J. M. Romkens. 1974. Prediction of sub soil erodibility using chemical, mineralogical physical parameters. EPA-660/2-74-043. Washington. U. S. Environm. Protect. Agency, Office of Res. And Dev.

- Subagyo, K., S. Marwanto, C. Tafakresnanto, T. Budyastoro, dan A. Dariah. 2004. Delineation of Erosion Areas in Sumberjaya, West Lampung. In Refinement of Soil Conservation/Agroforestry Measures Coffee Base Farming Systems. Soil Research Institute. ICRAF (ASB Phase 3 Project).
- Undang Kurnia dan H. Suwardjo. 1984. Kepekaan erosi beberapa jenis tanah di Jawa menurut metode USLE. Pembrit. Penel. Tanah dan Pupuk 3: 17-20.
- Undang Kurnia, A. Abdurachman, dan S. Sukmana. 1986. Comparison of two methods in assessing the soil erodibility factor of selected soils in Indonesia. Pembrit. Penel. Tanah dan Pupuk 5: 33-37
- Veiche, A. 2002. The spatial variability of erodibility and its relation to soil types: A study from Northern Ghana. *Geoderma* 106:110-120.
- Widianto, H. Noveras, D. Suprayogo, P. Purnomosidhi, dan M. van Noordwijk. 2002. Konversi lahan hutan menjadi lahan pertanian: 'Apakah fungsi hidrologi hutan dapat digantikan agroforestry berbasis kopi?' Seminar HITI NTB, Mataram, 27-28 Mei 2002.
- Wischmeier, W. H., and J. V. Mannering. 1969. Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Sci. Am. Proc.* 33: 131-137.
- Wischmeier, W. H., C. B. Johnson, and B.V. Cross. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Jour. Soil and Water Conserv.* 26: 189-193.
- Wischmeier, W. H., and D. D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. *Sci. and Educ. Adm. USDA in cooperation with Purdue Agric. Exp. Sta.*

3. MODEL PREDIKSI EROSI: PRINSIP, KEUNGGULAN, DAN KETERBATASAN

Tagus Vadari, Kasdi Subagyo, dan Nono Sutrisno

Erosi merupakan tiga proses yang berurutan, yaitu pelepasan (*detachment*), pengangkutan (*transportation*), dan pengendapan (*deposition*) bahan-bahan tanah oleh penyebab erosi (Asdak, 1995). Sedangkan Arsyad (1989) memberikan batasan erosi sebagai peristiwa berpindahnya atau terangkutnya tanah atau bagian tanah dari suatu tempat ke tempat lain oleh suatu media alami (air atau angin). Sejalan dengan itu, Baver (1972) menyatakan bahwa erosi oleh air adalah akibat dari daya dispersi (pemecahan) dan daya transporasi (pengangkutan) oleh aliran air di atas permukaan tanah dalam bentuk aliran permukaan.

Dua peristiwa utama erosi, yaitu pelepasan dan pengangkutan merupakan penyebab erosi tanah yang penting. Dalam proses erosi, pelepasan butir tanah mendahului peristiwa pengangkutan, tetapi pengangkutan tidak selalu diikuti oleh pelepasan. Agen pelepasan tanah yang penting adalah tetesan butir hujan yang jatuh di permukaan tanah. Tetesan air hujan akan memukul permukaan tanah, mengakibatkan gumpalan tanah menjadi butir-butir yang lebih kecil dan terlepas. Butir-butir tanah yang terlepas tersebut sebagian akan terlempar ke udara (*splash*) dan jatuh lagi di atas permukaan tanah, dan sebagian kecil akan mengisi pori-pori kapiler tanah, sehingga akan menghambat proses infiltrasi.

Aliran permukaan akan terjadi apabila air hujan yang masuk ke dalam tanah telah melampaui kapasitas infiltrasinya. Aliran tersebut mula-mula *laminar*, tetapi lama-kelamaan berubah menjadi *turbulent* karena pengaruh permukaan tanah yang dilaluinya. Turbulensi aliran ini digunakan untuk melepas lagi butir-butir tanah dengan cara mengangkat dari massanya dan menggulingkan butir-butir tanah tersebut, serta terjadi pula penggemburan butir-butir tanah dari massanya oleh butir-butir tanah yang terkandung dalam aliran permukaan. Aliran permukaan lama-kelamaan akan berkurang sejalan dengan berkurangnya curah hujan. Oleh karena itu, kemampuan pengangkutannya akan menyusut, dan pada suatu saat saja akan berhenti. Dalam keadaan inilah terjadi pengendapan butir-butir partikel tanah yang merupakan proses akhir terjadinya erosi.

MODEL PREDIKSI EROSI

Model erosi tanah

Terjadinya erosi yang dipercepat (*accelerated soil erosion*) diakui secara luas sebagai suatu permasalahan global yang serius (Lal, 1984). United Nations Environmental Program dalam Lal (1994) menyatakan bahwa produktivitas lahan seluas ± 20 juta ha setiap tahun mengalami penurunan ke tingkat nol atau menjadi tidak ekonomis disebabkan oleh erosi tanah atau degradasi yang disebabkan oleh erosi. Selanjutnya Burings dalam Lal (1994) mengestimasi bahwa telah terjadi *annual global loss* dari lahan pertanian seluas 3 juta ha tahun⁻¹ yang disebabkan oleh erosi tanah.

Erosi sangat menentukan berhasil tidaknya suatu pengelolaan lahan. Oleh karena itu, erosi merupakan faktor yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan penggunaan lahan dan pengelolaannya. Salah satu alat bantu yang dapat digunakan dalam perencanaan penggunaan lahan adalah model prediksi erosi. Secara ideal, metode prediksi erosi harus memenuhi persyaratan-persyaratan yang nampaknya bertentangan, yaitu: dapat diandalkan, secara universal dapat dipergunakan, mudah digunakan dengan data yang minimum, komprehensif dalam hal faktor-faktor yang digunakan, dan mempunyai kemampuan untuk mengikuti perubahan-perubahan tata guna lahan dan tindakan konservasi tanah (Arsyad, 2000). Karena rumitnya sistem erosi tanah dengan berbagai faktor yang berinteraksi, maka pendekatan yang paling memberi harapan dalam pengembangan metode dan prediksi adalah dengan merumuskan model konseptual proses erosi itu (Arsyad, 2000).

Pemodelan erosi tanah adalah penggambaran secara matematik proses-proses penghancuran, transport, dan deposisi partikel tanah di atas permukaan lahan. Paling tidak terdapat tiga alasan dilakukannya pemodelan erosi, yaitu: (a) model erosi dapat digunakan sebagai alat prediksi untuk menilai/menaksir kehilangan tanah yang berguna untuk perencanaan konservasi tanah (*soil conservation planning*), perencanaan proyek (*project planning*), inventarisasi erosi tanah, dan untuk dasar pembuatan peraturan (*regulation*); (b) model-model matematik yang didasarkan pada proses fisik (*physically-based mathematical models*) dapat memprediksi erosi dimana dan kapan erosi terjadi, sehingga dapat membantu para perencana konservasi tanah dalam menentukan targetnya untuk menurunkan erosi; dan (c) model dapat dijadikan sebagai alat untuk memahami proses-proses erosi dan interaksinya, dan untuk penetapan prioritas penelitian (Nearing et al., 1994).

Model erosi tanah dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu (a) model empiris, (b) model fisik, dan (c) model konseptual. Model empiris didasarkan pada variabel-variabel penting yang diperoleh dari penelitian dan pengamatan selama

proses erosi terjadi. Umumnya model-model erosi dibangun dari model empiris, dan contoh yang terkenal adalah *universal soil loss equation* (USLE) oleh Wischmeier dan Smith (1978). Model ini sangat luas penggunaannya untuk memprediksi erosi lembar dan alur. Perbaikan model USLE yaitu *revised universal soil loss equation* (RUSLE) juga merupakan model empiris yang memprediksi erosi lembar dan alur yang dihubungkan dengan aliran permukaan. Kedua model ini merupakan alat untuk memprediksi erosi dalam perencanaan konservasi tanah pada suatu lahan usaha tani.

Model fisik merupakan suatu model yang berhubungan dengan hukum kekekalan massa dan energi. Persamaan diferensial atau dikenal sebagai persamaan kontinuitas digunakan dan diaplikasikan untuk erosi tanah pada satu segmen tanah pada lahan yang berlereng. Model ini dikenal juga sebagai model *input-output* dalam kondisi yang homogen (seragam). Jadi masukan sama dengan keluaran pada kondisi homogen, tetapi tidak berlaku bila kondisinya tidak homogen. Salah satu model erosi fisik dibuat oleh Rose, dan berkembang menjadi model GUEST. Model fisik ditujukan untuk dapat menjelaskan proses erosi dengan menggunakan persamaan fisika, namun demikian persamaan empiris kadang-kadang masih digunakan di dalamnya (ICRAF, 2001). Persamaan yang digunakan pada model fisik ini tergolong sulit dan mengandung parameter-parameter yang kadang-kadang sukar untuk diukur. Selain untuk menggambarkan sifat atau perilaku dari tipe tanah yang berbeda diperlukan persamaan yang berbeda. Namun demikian, model fisik mempunyai kemungkinan untuk memperoleh hasil yang lebih baik dibandingkan dengan USLE atau beberapa modifikasinya, karena model fisik merupakan pemodelan proses-proses, sehingga pengguna dapat memahami lebih baik proses-proses yang bertanggung jawab dan untuk apa (Schmitz dan Tameling, 2000).

Model konseptual dirancang untuk mengetahui proses internal dalam sistem dan mekanisme fisik yang umumnya selalu berkaitan dengan hukum fisika dalam bentuk yang sederhana. Umumnya model ini tidak linear, bervariasi dalam waktu, dan parameternya mutlak diukur. Meskipun model ini mengabaikan aspek spasial dalam proses hujan dan aliran permukaan, tetapi kaitannya dengan proses yang tidak linear menyebabkan model ini layak untuk dipertimbangkan.

Banyak model erosi yang telah dikembangkan, paling tidak selama empat dekade terakhir, dimulai dengan USLE, dan beberapa model *empiris* lainnya, misalnya RUSLE, MUSLE (*modified universal soil loss equation*) yang dikembangkan atau berpatokan pada konsep USLE. Beberapa model fisik dikembangkan setelah generasi USLE, salah satu diantaranya adalah model fisik GUEST (*griffith university erosion system template*) (Rose *et al.*, 1997a). Beberapa model erosi untuk DAS yang berkaitan dengan hidrologi yang juga berdasarkan pada konsep USLE adalah ANSWERS (*areal non-point sources watershed*

environment response simulation) yang selanjutnya diperbaiki dengan model AGNPS atau *agricultural non-point source pollution model* (Sinukaban, 1997).

USLE (UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION)

Prinsip

USLE adalah model erosi yang dirancang untuk memprediksi rata-rata erosi tanah dalam jangka waktu panjang dari suatu areal usaha tani dengan sistem pertanian dan pengelolaan tertentu (Wischmeier dan Smith, 1978). Bentuk erosi yang dapat diprediksi adalah erosi lembar atau alur, tetapi tidak dapat memprediksi pengendapan dan tidak memperhitungkan hasil sedimen dari erosi parit, tebing sungai dan dasar sungai (Wischmeier dan Smith, 1978 *dalam* Arsyad, 2000).

Model prediksi erosi USLE menggunakan persamaan empiris sebagai berikut (Wischmeier dan Smith, 1978):

$$A = RKLSCP$$

Keterangan:

A = Banyaknya tanah tererosi dalam $t\ ha^{-1}\ tahun^{-1}$;

R = Faktor curah hujan, yaitu jumlah satuan indeks erosi hujan, yang merupakan perkalian antara energi hujan total (E) dengan intensitas hujan maksimum 30 menit (I_{30}),

K = Faktor erodibilitas tanah, yaitu laju erosi per unit indeks erosi untuk suatu tanah yang diperoleh dari petak homogen percobaan standar, dengan panjang 72,6 kaki (22 m) terletak pada lereng 9 % tanpa tanaman;

L = Faktor panjang lereng 9 %, yaitu nisbah erosi dari tanah dengan panjang lereng tertentu dan erosi dari tanah dengan panjang lereng 72,6 kaki (22 m) di bawah keadaan yang identik;

S = Faktor kecuraman lereng, yaitu nisbah antara besarnya erosi dari suatu tanah dengan kecuraman lereng tertentu, terhadap besarnya erosi dari tanah dengan lereng 9 % di bawah keadaan yang identik;

C = Faktor vegetasi penutup tanah dan pengelolaan tanaman, yaitu nisbah antara besarnya erosi dari suatu areal dengan vegetasi penutup dan pengelolaan tanaman tertentu terhadap besarnya erosi dari tanah yang identik tanpa tanaman;

P = Faktor tindakan konservasi tanah, yaitu nisbah antara besarnya erosi dari tanah yang diberi perlakuan tindakan konservasi tanah seperti pengelolaan

menurut kontur, penanaman dalam strip atau teras terhadap besarnya erosi dari tanah yang diolah searah lereng dalam keadaan yang identik.

Faktor erosivitas hujan (R)

Erosivitas hujan dapat diperoleh dengan menghitung besarnya energi kinetik hujan (E_k) yang ditimbulkan oleh intensitas hujan. Dalam model USLE, R atau EI_{30} diperoleh dari hasil perkalian energi kinetik hujan dengan intensitas hujan maksimum selama 30 menit (I_{30}) atau energi kinetik hujan dari intensitas hujan yang lebih besar dari 25 mm dalam satu jam ($KE > 1$). Untuk menghitung EI_{30} atau $KE > 1$ diperlukan data curah hujan yang diperoleh dari pencatat hujan otomatis.

Faktor erodibilitas tanah (K)

Besarnya nilai K ditentukan oleh tekstur, struktur, permeabilitas, dan bahan organik tanah (Wischmeier *et al.*, 1971). Penentuan besarnya nilai K dapat dilakukan dengan menggunakan nomograph atau rumus Wischmeier *et al.* (1971) sebagai berikut:

$$100 K = 1,292[2,1M^{1,14}(10^{-4})(12-a)+3,25(b-2)+2,5(c-3)] ,$$

- dimana: M = parameter ukuran butir yang diperoleh dari
(% debu + % pasir sangat halus) (100 - % liat)
a = % bahan organik (% C x 1,724)
b = kode struktur tanah
c = kode kelas permeabilitas penampang tanah

Untuk kadar bahan organik > 6% (agak tinggi - sangat tinggi), angka 6% tersebut digunakan sebagai angka maksimum.

Penilaian struktur dan permeabilitas tanah masing-masing menggunakan Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Penilaian struktur tanah

Tipe struktur tanah	Kode penilaian
Granular sangat halus (<i>very fine granular</i>)	1
Granular halus (<i>fine granular</i>)	2

Granular sedang dan besar (<i>medium, coarse granular</i>)	3
Gumpal, lempeng, pejal (<i>blocky, platy, massif</i>)	4

Sumber: Wischmeier et al., 1971

Tabel 2. Penilaian permeabilitas tanah

Kelas permeabilitas tanah	Kode penilaian
Cepat (<i>rapid</i>)	1
Sedang sampai cepat (<i>moderate to rapid</i>)	2
Sedang (<i>moderate</i>)	3
Sedang sampai lambat (<i>moderate to slow</i>)	4
Lambat (<i>slow</i>)	5
Sangat lambat (<i>very slow</i>)	6

Sumber: Wichmeser et al. (1971)

Faktor panjang dan kemiringan Lahan (LS)

Faktor panjang dan kemiringan lereng (LS), dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Morgan, 1979):

$$LS = \sqrt{\frac{\lambda}{100}} (1,38 + 0,965 S + 0,138 S^2)$$

- dengan LS = faktor panjang dan kemiringan lahan;
- S = kemiringan lahan (%)
- L = panjang lereng (m)

Rumus tersebut berlaku untuk lahan dengan kemiringan <22%, sedangkan untuk lahan dengan kemiringan lebih curam digunakan rumus Gregory et al. (1977) sebagai berikut:

$$T = \left(\frac{\lambda}{22,1}\right)^m .C.(cos \alpha)^{1,503} .0,5.(sin \alpha)^{1,249} + (sin \alpha)^{2,249}$$

- dengan: T = faktor topografi/ LS
- λ = panjang lereng, dalam meter
- m = 0,5 untuk lereng 5% atau lebih

0,4 untuk lereng 3,5% - 4,9%

0,3 untuk lereng < 3,4%

$C = 34,7046$

α = sudut kemiringan lahan, dalam derajat.

Faktor pengelolaan tanaman (C)

Pada dasarnya penentuan nilai C sangat rumit/sulit, karena harus mempertimbangkan sifat perlindungan tanaman terhadap erosivitas hujan. Sifat perlindungan tanaman harus dinilai sejak dari pengolahan tanah hingga panen, bahkan hingga penanaman berikutnya. Selain itu, penyebaran hujan selama satu tahun juga perlu memperoleh perhatian.

Untuk mendapatkan nilai C tanpa mengurangi ketelitian prediksi erosi yang hendak dicapai dapat ditempuh cara dengan merujuk publikasi yang telah ada sesuai dengan kondisi Indonesia. Bila untuk sebidang lahan terdapat rotasi tanaman atau cara pengelolaan tanaman yang tidak tercantum dalam publikasi yang dirujuk, maka dapat ditempuh dengan memperhitungkan kembali nilai C tersebut berdasarkan nilai-nilai C pada publikasi rujukan.

Faktor tindakan konservasi tanah (P)

Tindakan konservasi tanah yang dimaksud tidak hanya teknik konservasi tanah secara mekanis atau fisik saja, tetapi juga berbagai macam usaha yang bertujuan mengurangi erosi tanah.

Untuk mengetahui teknik konservasi tanah di suatu unit lahan, melalui interpretasi foto udara dengan skala 1 : 50.000 atau lebih kecil agak sukar. Untuk mengatasi kekurangan tersebut kiranya uji-medan maupun informasi yang tersedia akan sangat membantu.

Kelemahan dan keunggulan

Beberapa ilmuwan menyatakan beberapa kelemahan dari USLE, diantaranya adalah model tersebut dinilai tidak efektif jika diaplikasikan di luar kisaran kondisi dimana model tersebut dikembangkan. Adaptasi model tersebut pada lingkungan yang baru memerlukan investasi sumber daya dan waktu untuk mengembangkan *database* yang dibutuhkan untuk menjalankannya (Nearing *et al.*, 1994). Over estimasi yang bisa terjadi dengan penggunaan USLE dapat mencapai 2.000%, penyebabnya adalah adanya subjektivitas penggunaan data atau karena penggunaan peta skala kecil (Van der Poel dan Subagyo, 1998).

Meskipun disadari adanya beberapa kelemahan/keterbatasan dari model-model empiris, khususnya USLE, sampai saat ini telah dan masih diaplikasikan secara luas di seluruh dunia (Nearing *et al.*, 1994; Lal, 1994; Schmitz dan Tameling, 2000; ICRAF, 2001), karena model tersebut mudah dikelola, relatif sederhana dan jumlah masukan atau parameter yang dibutuhkan relatif sedikit dibandingkan dengan model-model lainnya yang bersifat lebih kompleks (ICRAF, 2001; Schmitz dan Tameling, 2000). USLE juga berguna untuk menentukan kelayakan tindakan konservasi tanah dalam perencanaan lahan dan untuk memprediksi *non-point sediment losses* dalam hubungannya dengan program pengendalian polusi (Lal, 1994). Pada tingkat lapangan (*field scale*), USLE sangat berguna untuk merumuskan rekomendasi atau perencanaan yang berkaitan dengan bidang agronomi (*agronomic proposal*), karena dapat digunakan sebagai dasar untuk pemilihan *land use* dan tindakan konservasi tanah yang ditujukan untuk menurunkan *on-site effect* dari erosi (ICRAF, 2001).

Salah satu faktor yang harus disadari oleh para pengguna model ini berhubungan dengan skala penggunaan, Tarigan dan Sinukaban (2001) menyatakan bahwa USLE berfungsi baik untuk skala plot, sedangkan untuk skala DAS, hasil prediksi saja dapat berlebihan. Salah satu penyebabnya adalah pengaruh filter sedimen yang tidak terakomodasi. Namun USLE bermanfaat dalam hubungannya dengan *on-site effect* dari erosi. Tidak demikian halnya dalam hubungannya dengan *off-site effect* dari erosi, diantaranya meliputi pengaruh erosi terhadap lingkungan di luar lahan yang tererosi, misalnya kualitas air sungai, kerusakan dam yang disebabkan oleh hasil sedimen.

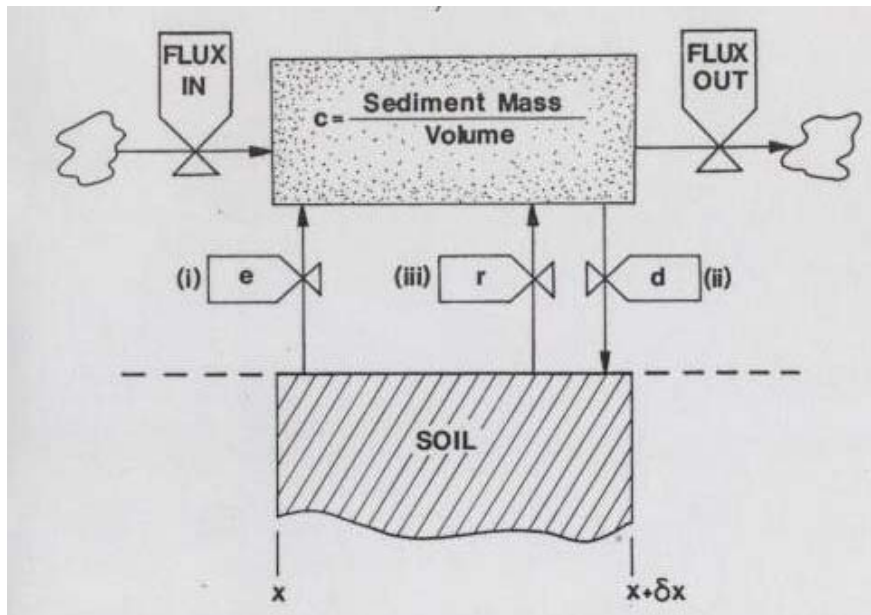
MODEL EROSI ROSE (GUEST)

Prinsip

Model erosi Rose (GUEST) merupakan model berdasarkan pendekatan proses erosi yang mempengaruhinya, yaitu daya pelepasan partikel tanah oleh butir-butir hujan dan aliran permukaan sebagai agen utama penyebab erosi tanah. Dalam model ini, erosi terjadi karena adanya tiga proses yang berperan, yaitu pelepasan (*detachment*) oleh butir-butir hujan, pengangkutan (*transportation*) sedimen, dan pengendapan (*deposition*) sedimen (Rose *et.al.*, 1983). Ketiga proses dalam model tersebut diilustrasikan pada Gambar 1, sedangkan persamaan model tersebut setelah disederhanakan adalah sebagai berikut:

$$SL = 2700 \lambda S (C_r) (Q) \dots\dots\dots (1)$$

dimana: SL adalah total tanah yang hilang (kg.m⁻³); λ adalah efisiensi pengangkutan; S adalah kemiringan lahan (%); C adalah persentase penutupan lahan; dan Q adalah volume aliran permukaan (m³).



Gambar 1. Hubungan antara fluks sedimen, pengikisan, pengangkutan, dan pengendapan sedimen, dalam proses erosi tanah (Rose dan Freebairn, 1985)

Persamaan (1) diturunkan berdasarkan konsep konservasi masa sedimen dalam beberapa bagian elemen dari aliran permukaan yang dikombinasikan dengan teori konsentrasi sedimen dan hidrologi. Secara matematis persamaan tersebut ditulis dalam bentuk,

$$\frac{\partial(q_{si})}{\partial x} + \frac{\partial(c_i h)}{\partial t} = e_i + r_i - d_i \dots\dots\dots (2)$$

dimana $q_{si} = q c_i$, yaitu fluks (*flux*) sedimen pada arah aliran (x), q adalah fluks sedimen (debit spesifik), c_i = konsentrasi sedimen, h = tebal aliran permukaan, e_i = pelepasan (*detachment*) oleh butir-butir hujan, r_i = pengangkutan (*entrainment*) sedimen, dan d_i = pengendapan (*deposition*) sedimen.

Sejalan dengan perkembangan ilmu komputer, model GUEST disempurnakan menjadi *event-based proses model* untuk erosi lembar (*sheet erosion*). Namun demikian model tersebut dapat juga diaplikasikan untuk erosi alur (*rill erosion*). Model ini dapat pula dianggap sebagai *semi-static model*, karena erosi dapat diprediksi per kejadian hujan (*event by event*) (Schmitz dan Tameling, 2000).

GUEST mulanya didokumentasikan oleh Misra dan Rose pada tahun 1990 dan telah mengalami beberapa pengembangan selama Proyek ACIAR (*Australian Centre for International Agricultural Research*) (Rose et al., 1997a). Untuk daerah tropis (Philippina, Malaysia, Thailand dan Australia), GUEST telah divalidasi pada skala plot (72-1.000m²) dan menunjukkan hasil yang baik (Rose et al., 1997a; Schmitz dan Tameling, 2000; ICRAF, 2000).

GUEST merupakan model persamaan fisik (*physical equation*) yang perhitungannya didasarkan pada konsentrasi sedimen yang tersuspensi di dalam aliran permukaan, dikembangkan oleh Rose dan Hairsine (1988). Besar konsentrasi sedimen pada keadaan bera menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_t = \frac{F\sigma SV}{\phi \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right)} \dots\dots\dots (3)$$

- Keterangan:
- C_t

=

konsentrasi sedimen dalam aliran permukaan;
- F

=

fraksi tenaga aliran yang digunakan untuk mengerosikan tanah;
- σ

=

berat jenis sedimen;
- ρ

=

berat jenis air;
- φ

=

rata-rata kecepatan pengendapan sedimen;
- S

=

kemiringan lahan; dan
- V

=

kecepatan aliran permukaan.

Kecepatan aliran permukaan pada persamaan 3 menggunakan rumus Manning’s yang disajikan dalam persamaan 4, yaitu:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (4)$$

- Keterangan:
- n

=

koefisien kekasaran Manning’s;
- R

=

jari-jari hidraulik; dan
- S

=

kemiringan lahan.

Jika debit aliran permukaan mengikuti persamaan 5, kemudian disubsitusikan kedalam persamaan 3, maka persamaan kecepatan aliran permukaan dapat dijabarkan menjadi persamaan 6.

$Q = VA \dots\dots\dots (5)$

Keterangan:
Q = debit aliran permukaan per unit luas; dan
A = luas penampang permukaan.

$V = \left(\frac{\sqrt{S}}{n}\right)^{\frac{3}{5}} L^{-\frac{2}{5}} Q^{\frac{2}{5}} \dots\dots\dots (6)$

Bila persamaan 6 disubsitusikan dalam persamaan 3, maka persamaan konsentrasi sedimen dapat dijabarkan mengikuti persamaan 7, yaitu:

$C_t = \frac{F\sigma S}{\phi\left(\frac{\sigma}{\rho}-1\right)} \left(\frac{\sqrt{S}}{n}\right)^{\frac{3}{5}} L^{-\frac{2}{5}} Q^{\frac{2}{5}} \dots\dots\dots (7)$

Selanjutnya persamaan 7 disederhanakan menjadi persamaan 8, yaitu

$C_t = k Q^{0.4} \dots\dots\dots (8)$

Rose *et al.* (1997a) dan Yu *et al.* (1997) mengungkapkan perlu dilakukan upaya untuk memperoleh aliran permukaan yang stabil dengan mencari debit aliran permukaan efektif (Q_{eff}) dengan perubahan persamaan menjadi persamaan 9.

$C_t = k Q_{eff}^{0.4} \dots\dots\dots (9)$

Dengan nilai Qeff seperti persamaan 10 di bawah ini.

$Q_{eff} = \left[\frac{\sum Q^{1.4}}{\sum Q}\right]^{\frac{5}{2}} \dots\dots\dots (10)$

Untuk mendapatkan kondisi aktual di lapangan, maka faktor erodibilitas tanah dan faktor penutupan lahan atau vegetasi harus ditambahkan. Erodibilitas tanah didefinisikan sebagai ketahanan tanah terhadap gerakan aliran air

permukaan. Istilah ini disebut juga sebagai kohesi tanah atau ketahanan agregat tanah. Kohesi tanah mempunyai hubungan yang negatif dengan jarak antar partikel, tetapi mempunyai hubungan yang positif dengan luas permukaan spesifik partikel tanah.

Hubungan erodibilitas tanah dengan konsentrasi sedimen pada aliran permukaan disajikan dalam persamaan 11.

$$C = C_t^\beta \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan:

- β = parameter erodibilitas; dan
 C = konsentrasi sedimen dalam aliran permukaan.

Faktor penutupan lahan sangat signifikan mengurangi kerusakan tanah yang diakibatkan pukulan butiran air hujan, dan dapat menurunkan laju aliran permukaan. Penutupan lahan mempunyai hubungan eksponensial dengan permukaan kontak dan erosi yang dihasilkan serta mempunyai nilai yang bervariasi tergantung pada tipe penggunaan lahannya (Rose et al. 1997b).

Selain itu permukaan kontak mempunyai hubungan eksponensial dengan konstanta permukaan kontak yaitu k_s . Nilai ini diperoleh dari hubungan tanah yang tererosi dengan tanaman penutup dan tanpa tanaman (bera) dengan permukaan kontak seperti tersaji dalam persamaan 12.

$$\frac{C}{C_b} = \exp(-k_s C_s) \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan:

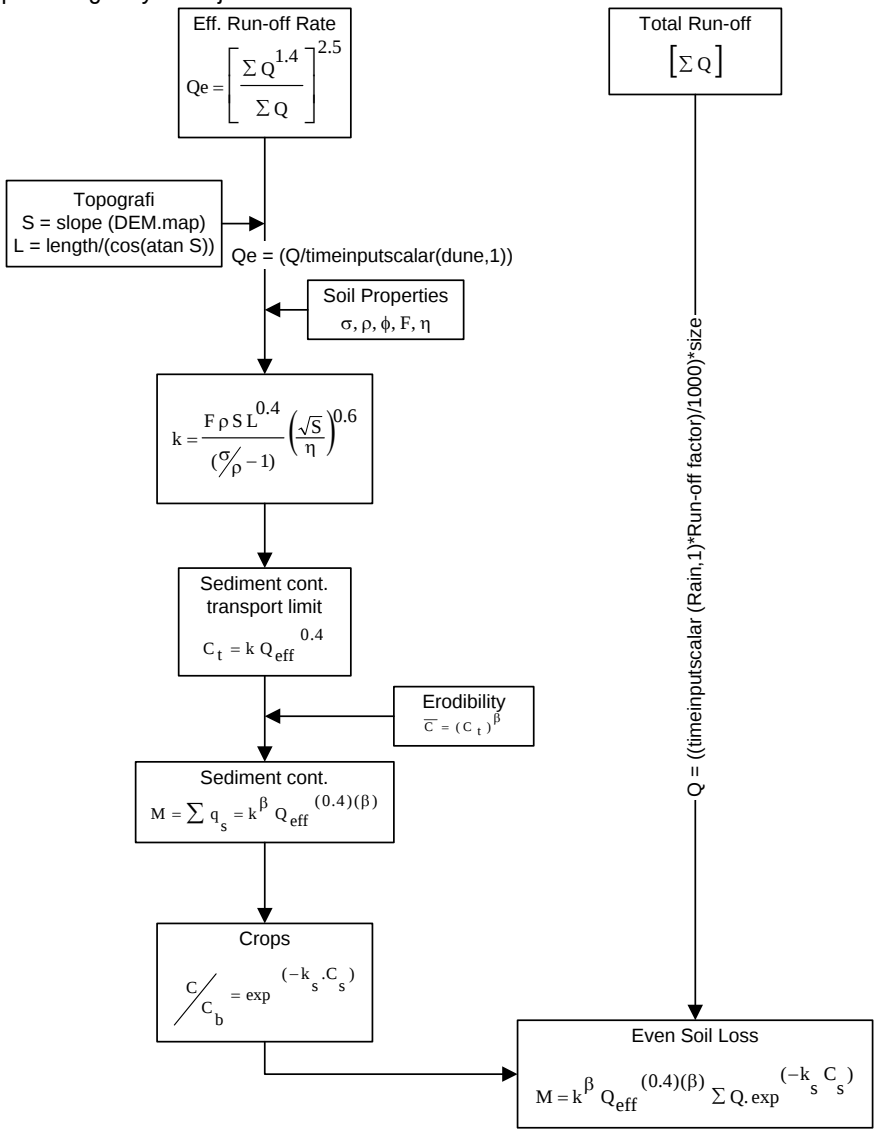
- C = erosi tanah pada tanaman tertentu;
 C_b = erosi tanah pada kondisi bera;
 C_s = fraksi dari permukaan kontak penutupan; dan
 k_s = konstanta permukaan kontak.

Akhirnya, dengan menambahkan persamaan 11, 12, dan total aliran permukaan ($\sum Q$) pada persamaan 9, maka jumlah keseluruhan masa tanah yang hilang pada setiap kejadian erosi (M) disajikan pada persamaan 13.

$$M = k^\beta Q_{\text{eff}}^{0.4\beta} \sum Q \exp(-k_s C_s) \dots\dots\dots (23)$$

Prosedur perhitungan erosi dengan metode Rose pada prinsipnya adalah mengakomodasikan besaran aliran permukaan dan konsentrasi sedimen dalam

aliran permukaan pada setiap kejadian hujan. Secara rinci diagram alir perhitungannya disajikan dalam Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Diagram alir perhitungan erosi, hasil sedimen, dan aliran permukaan dengan pendekatan GUEST

Operasional model GUEST

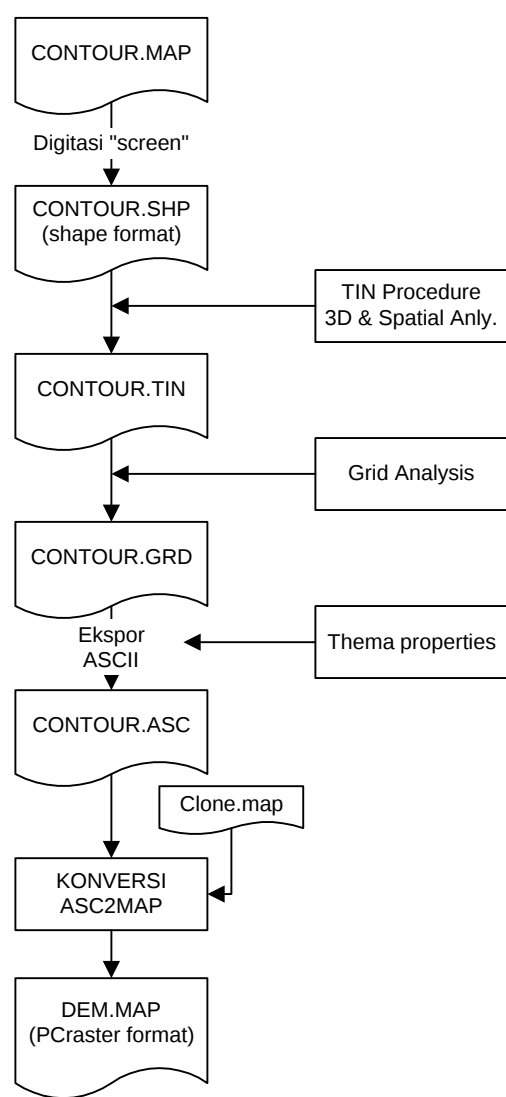
Data yang diperlukan untuk menjalankan model GUEST dengan SIG-PCRaster adalah (1) informasi tanah, berupa data *run-off* dan infiltrasi, data kohesi tanah, dan berat jenis sedimen; (2) garis kontur, berupa DEM (*digital elevation model*), *slope*, dan aspek/arah, serta LDD (*local drain direction*); (3) *land use*, berupa koefisien Manning's, dan *contact cover*; (4) jaringan sungai; dan (5) data iklim berupa curah hujan.

Data tinggi permukaan tanah digunakan untuk membangun peta DEM. Proses ini memerlukan konversi format vektor ke raster yang dikerjakan dengan bantuan ekstensi *grid tools analysis* tetapi sebelumnya format vektor diubah dulu dalam area-area triangulasi atau disebut TIN (*triangulated irregular networks*) prosedur. Proses ini dikerjakan dengan bantuan ekstensi 3D dan *spatial analysis* dari program ArcView 3.1. Selanjutnya diekspor ke dalam format ASCII yang dipakai sebagai masukan data spasial dari PCRaster. Sebelum konversi ke format raster diperlukan *clone.map* (tipe *scalar*) yang merupakan kloning dari data spasial sebelumnya. Proses ini selengkapnya disajikan dalam diagram alir pada Gambar 3.

Peta DEM digunakan untuk membuat peta lereng dan peta LDD, yaitu peta arah aliran (*flow path*) dari aliran permukaan. Peta lereng digunakan untuk menghitung besarnya sedimen yang terangkut dari satu raster ke raster yang lain. Sedangkan arah aliran digunakan untuk menghitung besarnya debit *run-off* atau erosi yang terjadi per satuan raster. Peta LDD dibuat dengan komando operasi PCRaster sebagai berikut:

```
PCRCalc LDD.map = lddcreate(DEM.map,1,1e35,1e35,1e35)
```

Seperti halnya peta DEM, maka peta tanah analog perlu diubah ke peta digital, yang memerlukan konversi format vektor ke raster yang dikerjakan dengan bantuan ekstensi *grid tools analysis* dari program ArcView 3.1 dan tidak memerlukan TIN prosedur. Selanjutnya diekspor ke dalam format ASCII yang dipakai sebagai masukan data spasial dari PCRaster. Sebelum konversi ke format raster diperlukan *clone.map* (tipe *nominal*) yang merupakan kloning dari data spasial sebelumnya. Proses ini selengkapnya disajikan dalam diagram alir Gambar 4.



Gambar 3. Diagram alir proses konversi data analog tinggi permukaan tanah atau kontur ke bentuk digital raster atau DEM dalam model GUEST (Paningbatan, 2001; dan Eiumnoh, 2002)

Peta tanah digunakan untuk membuat peta Sed-den dan peta Sed-vel, yaitu kerapatan jenis tanah dari partikel tanah yang hanyut dalam aliran permukaan dan laju kecepatan partikel tanah. Kerapatan jenis dan kecepatan aliran partikel tanah sangat tergantung pada jenis tanah. Peta-peta ini merupakan

peta perantara yang digunakan untuk perhitungan selanjutnya dan terjadi saat proses perhitungan dilakukan. Pengisian nilai-nilai spasial peta-peta ini dilakukan dengan komando operasi LookUp dari PCRaster, yaitu:

PCRCalc Sedden.map = lookupsalar(Density.tbl, Soil.map)

PCRCalc Sedvel.map = lookupsalar(Velocity.tbl, Soil.map)

Peta tanah juga digunakan untuk membuat peta erodibilitas tanah. Seperti halnya dengan peta sed-den dan sed-vel yang merupakan data spasial perantara, digunakan untuk perhitungan selanjutnya, proses pembuatan peta beta dilakukan dengan komando operasi LookUp dari PCRaster, yaitu:

PCRCalc Beta.map = lookupsalar(Cohesive.tbl, Soil.map)

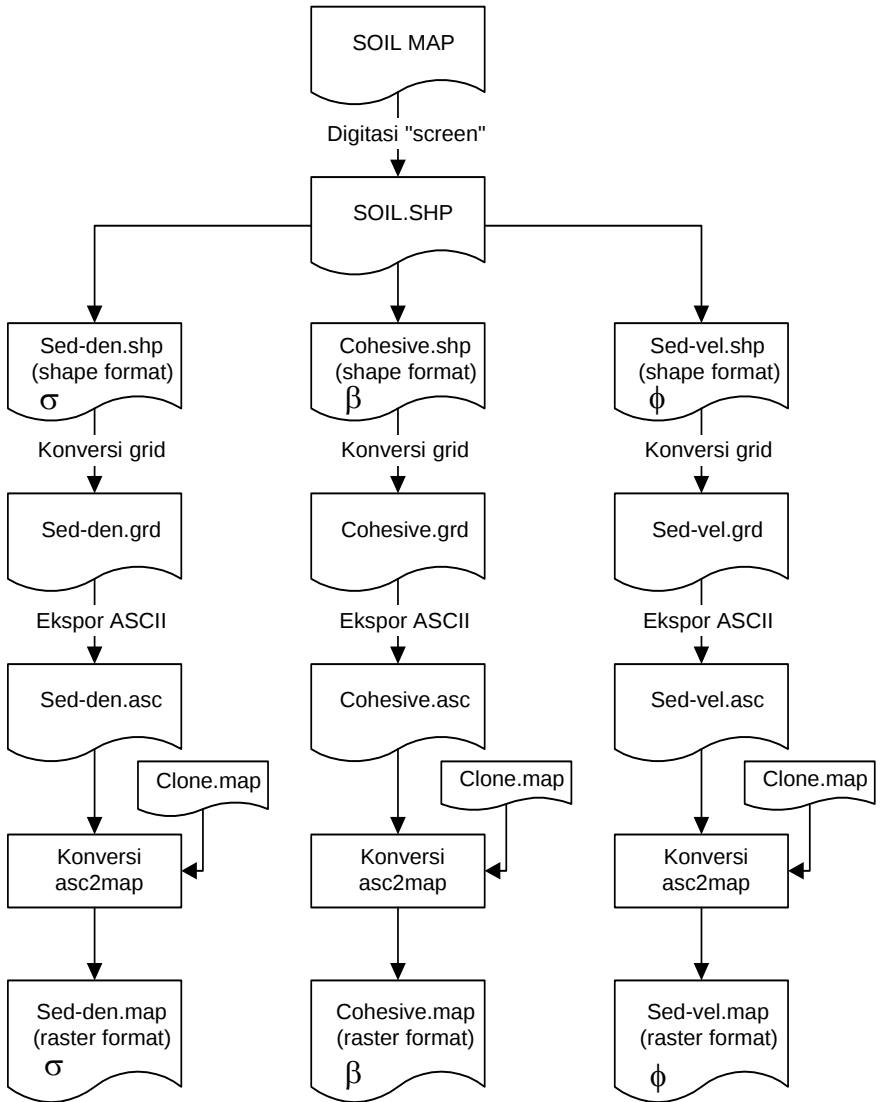
Seperti halnya peta tanah, maka peta penggunaan lahan analog perlu diubah ke peta digital, yang memerlukan konversi format vektor ke raster yang dikerjakan dengan bantuan ekstensi *grid tools analysis* dari program ArcView 3.1 dan tidak memerlukan TIN prosedur. Selanjutnya diekspor ke dalam format ASCII yang dipakai sebagai masukan data spasial dari PCRaster. Sebelum konversi ke format raster diperlukan *clone.map* (tipe *nominal*) yang merupakan kloning dari data spasial sebelumnya. Proses ini selengkapnya disajikan dalam diagram alir pada Gambar 5.

Peta penutupan lahan digunakan juga untuk membuat peta kekasaran Manning's dan peta *contact cover* (bagian tanah yang terbuka dan langsung dikenai air hujan dan tidak tertutup oleh tanaman). Peta-peta ini merupakan peta perantara yang digunakan untuk perhitungan selanjutnya dan terjadi saat proses perhitungan dilakukan. Pengisian nilai-nilai spasial peta-peta ini dilakukan dengan komando operasi LookUp dari PCRaster, yaitu:

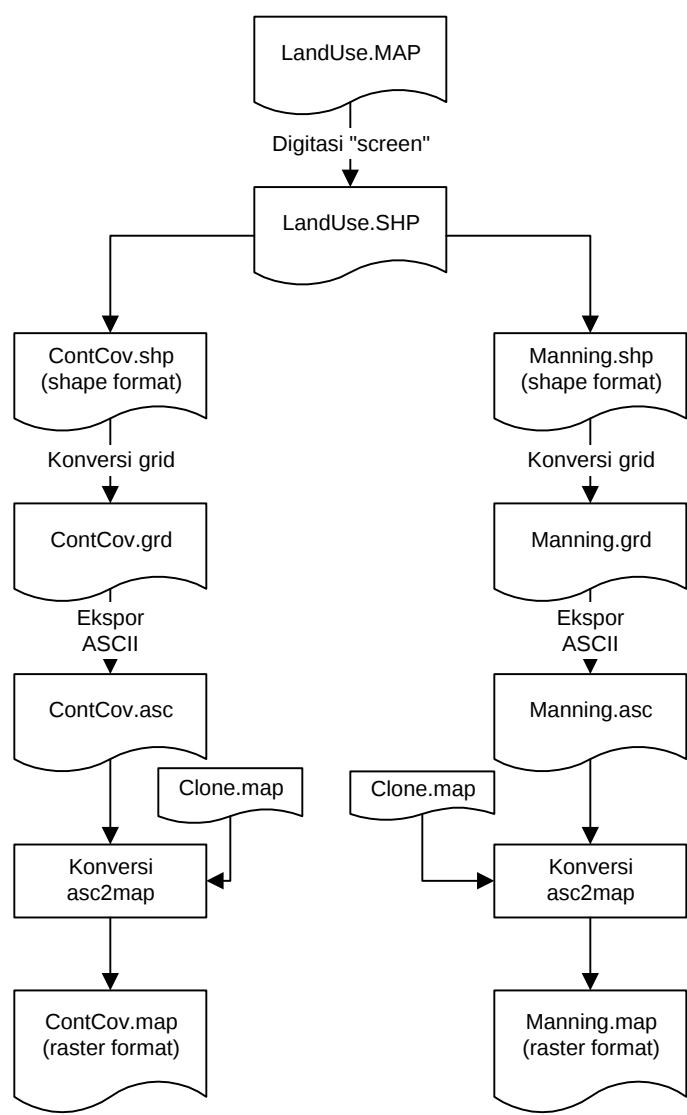
PCRCalc Manning.map = lookupsalar(Manning.tbl, Crop.map)

PCRCalc Contcov.map = lookupsalar(Contcov.tbl, Crop.map)

Kedua tabel Manning dan *contact cover* merujuk pada jenis tanaman yang ada di lahan saat proses kejadian hujan dan erosi terjadi. Nilai-nilai ini diadopsi dari hasil penelitian proyek ACIAR yang dilakukan di Malaysia, Thailand, dan Philippina, dan Benua Australia belahan Utara. Sedangkan Indonesia mengadopsi dari proyek ICRAF di Lampung, yaitu tanaman tahunan berbasis kopi (ICRAF, 2002, Rose, *et.al.*, 1985, dan Rose, *et.al.*, 1997 dalam Eiumnoh *et al.*, 2002). Kedua peta ini selanjutnya digunakan untuk menghitung debit aliran permukaan dan kapasitas angkut sedimen, serta deposisi sedimen dalam satu jalur *flow path*.



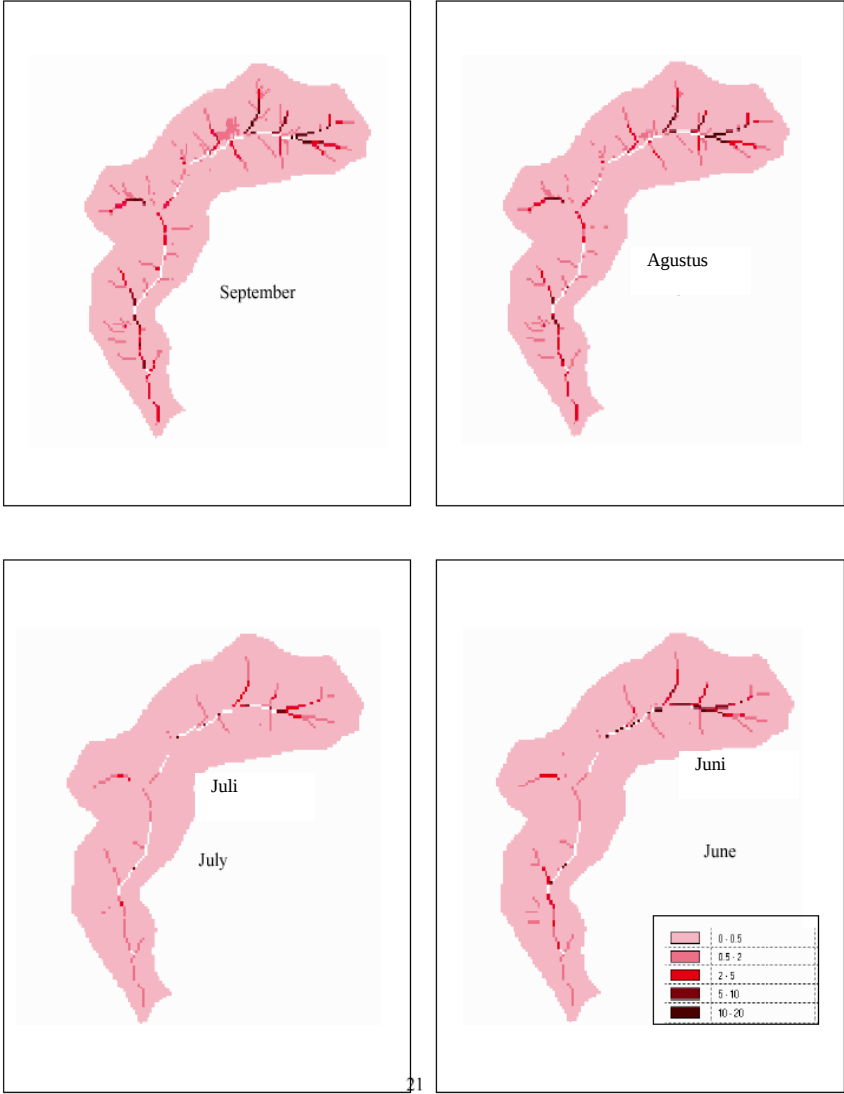
Gambar 4. Diagram alir proses konversi data analog tanah ke bentuk digital raster atau sed-den.map, sed-vel.map, dan cohesive.map dalam model MSEC-1 (Paningbatan 2001; dan Eiumnoh, 2002)



Gambar 5. Diagram alir proses konversi data analog penggunaan lahan ke bentuk digital raster atau ContCov.map dan Manning.map dalam model MSEC-1 (Paningbatan, 2001; ICRAF, 2001; dan Eiumnoh, 2002)

Data curah hujan yang digunakan dalam model ini adalah intensitas hujan dengan satuan mm per jam. Data ini diperoleh dari alat curah hujan otomatis yang telah disetel untuk merekam data per enam menit. Untuk itu diperlukan konversi sebagai berikut: pertama data per enam menit diubah ke mm per jam dan dibuat

dalam file Raind.tss; kedua setiap ada kejadian hujan dibuat nilai 1 bila tidak 0 dan dibuat dalam file Raind.tss; ketiga enam menit dikonversi ke detik ($6 \times 60 = 360$) dan dibuat dalam file dune.tss (Paningbatan, 2001 dan Eiumnoh, 2002). Ketiga file ini dibuat dalam format ASCII seperti halnya data tabular yang diperlukan PCRaster untuk menjalankan model ini. Selain itu dari beberapa data yang telah direkam harus dipilih hujan tunggal untuk digunakan dalam model.



Gambar 6. Hasil prediksi erosi spasial bulanan pada DAS Huay Pano, Laos dengan model GUEST

Model ini menggunakan skrip komando operasi (perintah ditulis dalam satu file yang diberi nama Model.mod) yang prosesnya secara dinamis dihitung sesuai dengan *timestep* (penggal waktu) yang banyaknya sama dengan input data hujan. Selanjutnya perhitungan otomatis dengan *batch file* (1run.bat) yang berisi perintah model dengan mengetikkan PCRCalc -f Model.mod.

Kelemahan dan keunggulan

Dibandingkan dengan USLE, salah satu keunggulan dari model fisik seperti GUEST adalah terakomodasinya fungsi filter sedimen. Dalam model GUEST terdapat tiga parameter yang dapat dipengaruhi oleh *specific filterstrips* dan tipe penggunaan lahan, yaitu: koefisien manning, faktor penutupan permukaan lahan (*the surface contact cover factor*) yakni Cs dan Ks. Koefisien Manning's meningkat ketika kekasaran permukaan meningkat, dan membuat kecepatan aliran menurun, selanjutnya menyebabkan hasil sedimen (*sedimen yield*) menurun. Cs dan Ks merupakan faktor penyesuaian untuk menggunakan persamaan pada kondisi tanah berpenutup (*covered soil*), sebagai pengganti dari tanah bera (Schmitz dan Tameling, 2000). Cs (*contact cover fraction*) ditentukan oleh tipe penggunaan lahan (*land use*), termasuk penutupan permukaan tanah oleh mulsa atau serasah (daun yang jatuh di atas permukaan tanah). Ks merupakan data empiris dan merupakan faktor tidak berdimensi (*dimensionless factor*), mempunyai kisaran nilai antara 5-15 (Rose, 1997). Schmitz dan Tameling (2000) mengasumsikan nilai Ks sebesar 10 dengan nilai kesalahan 5 untuk prediksi erosi pada lahan usaha tani kopi, sedangkan untuk lahan sawah Sinukaban et al. (2000) menetapkan Ks sebesar 5.

Faktor erodibilitas tanah yang digunakan dalam model GUEST (β) lebih pasti dibandingkan dengan K dalam USLE. β , sebagian besar berhubungan dengan soil strength. *Depositability* (ϕ) atau kemampuan agregat atau partikel tanah untuk mengendap, juga dilibatkan dalam penghitungan erosi. K merupakan gabungan dari beberapa parameter (*lumped parameter*) yang tergantung dari: karakteristik infiltrasi, koefisien kekasaran manning, kecenderungan untuk membentuk alur (rill) stabilitas agregat tanah terhadap curah hujan, kecenderungan tanah untuk terkonsolidasi atau menjadi kuat direfleksikan dalam β (Rose et al., 1997b).

Perbedaan utama antara model empiris USLE dengan model fisik GUEST disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbedaan utama antara model USLE dan GUEST

Karakteristik	USLE	GUEST
Temporality	<i>Statis</i> (simulasi erosi pada rata-rata tahunan)	<i>Semi-statis</i> (simulasi erosi dapat dilakukan per kejadian)
Persamaan	Empiris, berdasarkan data statistik dari penelitian pengukuran erosi	<i>Physically based</i> (meskipun beberapa hubungan empirik digunakan)
Proses	Implisit (tidak dapat mengisolasi/memisahkan pengaruh dari <i>given variable</i>)	<i>Explicit</i> (memungkinkan untuk mengisolasi/memisahkan pengaruh dari suatu <i>given variable</i>)
Kompleksitas Kebutuhan Skala	Simple (sederhana) <i>Input</i> paramer sedikit <i>Plot size</i> (ukuran plot)	Lebih kompleks Parameter tidak terlalu banyak <i>Plot</i> dan <i>small catchments</i> bila di operasikan dengan program geostatistik yang dinamik
Aplikasi	Cropland (lahan pertanian), range land (lahan penggembalaan), hutan	Cropland (lahan pertanian), range land (lahan penggembalaan), hutan
Keterbatasan	Ketidakakuratan untuk area-area tanpa kalibrasi lapangan, tidak boleh digunakan pada keadaan gully (<i>ephemeral gully</i>), masalah untuk <i>multiple land uses</i> pada suatu kemiringan lahan, kadang-kadang overestimasi, tidak bisa digunakan untuk prediksi <i>sediment deposition</i> , tidak untuk menghitung distribusi spasial sedimen pada lereng bukit (<i>hill slope</i>)	Hubungan empiris dimasukkan untuk menyederhanakan persamaan
Keuntungan	Sederhana, diterima dan digunakan secara luas	Divalidasi untuk negara-negara di daerah tropis, menggunakan <i>runoff</i> untuk menghitung erosi
Fasilitas komputer	Ya/tidak	Ya
Output	Rata-rata erosi jangka panjang per unit area	Konsentrasi sedimen per kejadian hujan

Sumber: disarikan dari ICRAF, 2001

MODEL AGNPS DAN SDR STIFF DIAGRAM

Model simulasi yang digunakan untuk memprediksi erosi skala DAS atau sedimen telah banyak digunakan, baik model terdistribusi maupun *point*. Model-model yang telah dikenal antara lain *flood hydrograph package* (HEC-1),

*hydrologic model computer language (HYMO), storm water management model (SWMM), antecedent precipitation index model (API), stanford watershed model IV (SWM-IV), quantity and quality of urban runoff (STORM) (Viessman et al., 1977). Chemical, runoff, and erosion from agricultural management (CREAM), simulator for water resources in rural basin (SWRRB), (erosion-productivity impact calculator) EPIC dan areal nonpoint source watershed environment respon simulation (ANSWERS) menggunakan faktor-faktor erosi dari model USLE untuk input modelnya dengan tambahan beberapa variabel yang mempengaruhi transpor erosi atau sedimen dan pengendapan (Bingner, 1990). Ditambahkan oleh Young dan Onstad (1990) dan U.S. Forest Service (1980) dalam Morris dan Fan (1998), agricultural non-point source pollution (AGNPS) merupakan model yang dapat digunakan dalam suatu DAS dengan keluaran limpasan (*total runoff*), sedimen serta kehilangan hara, dan untuk model prediksi *sediment delivery ratio (SDR) stiff diagram* hanya dapat memprediksi erosi skala DAS. Dalam penggunaannya, paket model tersebut harus dipilih sesuai dengan tujuan yang akan dicapai karena masing-masing paket model simulasi mempunyai kelebihan-kelebihan atau kekurangan-kekurangan dalam keluarannya.*

AGNPS adalah model parametrik terdistribusi yang dikembangkan oleh ilmuwan *Agricultural Research Service (ARS), USDA, Morris, Minnesota. (Minnesota Pollution Control Agency)* bekerjasama dengan Badan Pengendali Polusi, Minnesota. (*Minnesota Pollution Control Agency*). Komponen model menggunakan persamaan dan metodologi yang telah dikembangkan dan banyak digunakan oleh USDA, dan ARS.

Menurut Guluda (1996) model AGNPS dapat digunakan di daerah tangkapan Citere (Jawa Barat) yang merupakan daerah tangkapan tidak terlalu luas. Menurut Sutrisno (2002), model AGNPS dan prediksi *SDR stiff diagram* dapat digunakan di sub-DAS Tugu Utara (sub-DAS Ciliwung Hulu) yang luasnya hanya 160 ha. Demikian juga untuk skala DAS dengan luas 60,5 - 180 km² dan yang sangat luas, yaitu DAS Cilalawi, Cikao dan Ciherang (Jawa Barat), DAS Shui-Li, DAS Bajun River Basin dan Tsengwen Reservoir, AGNPS dapat digunakan untuk memprediksi erosi dan hasil sedimen (Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, 2003, Wang dan Cheng, 1999; Lo, 1995). Selain itu, model AGNPS dapat digunakan di DAS yang mempunyai variasi curah hujan besar, yaitu antara mendekati 0 mm sampai lebih besar dari 75 mm/kejadian hujan (Bingner et al., 1992).

Model AGNPS merupakan gabungan antara model distribusi (*distributed model*) dan model rangkaian (*sequential model*). Artinya, penyelesaian persamaan keseimbangan masa dikerjakan secara simultan di seluruh sel, dan air serta polutan ditelusuri dalam rangkaian aliran di permukaan lahan dan di saluran secara berurutan. Model ini bekerja pada basis geografis yang digunakan untuk menggambarkan kondisi lahan kering dan saluran (*channel*). Dasar prediksi yang

digunakan adalah dalam satuan sel. Oleh karena itu, DAS yang akan diprediksi harus dibagi habis ke dalam sel-sel. Setiap sel dapat mencapai luas 4,6 ha untuk luas DAS yang lebih kecil dari 930 ha, atau luas sel dapat mencapai 18,6 ha bila luas DAS yang diprediksi lebih luas dari 930 ha.

Model prediksi SDR *stiff diagram* merupakan model *point* yang dapat memprediksi erosi skala DAS secara sederhana. SDR suatu DAS dipengaruhi oleh kondisi fisik DAS dan bervariasi antara DAS satu dengan DAS lainnya. Menurut Shen dan Julien (1992), SDR dipengaruhi oleh areal drainasenya, kemiringan DAS, kerapatan drainase dan aliran permukaan. Menurut Klaghofer *et al.* (1992), tidak hanya ukuran DAS yang berpengaruh terhadap SDR, parameter-parameter geomorfologi seperti faktor relief dan *bifurcation ratio* juga berpengaruh. Hasil penelitian SDR di lapangan oleh Ebisemiju (1990), menunjukkan gambaran yang lebih detil mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi SDR. Penelitian dilakukan pada petak yang ditanami dan tidak ditanami. Pada petak yang ditanami, faktor yang paling berpengaruh terhadap erosi adalah erodibilitas tanah, sedangkan faktor yang mempengaruhi sedimentasi adalah panjang lereng, kemiringan lereng dan infiltrasi. Jadi faktor-faktor yang mempengaruhi SDR pada petak yang ditanami adalah erodibilitas tanah, panjang lereng, kemiringan lereng dan infiltrasi. Pada petak yang tidak ditanami, faktor yang paling berpengaruh terhadap erosi adalah kemiringan lereng dan erodibilitas tanah, faktor yang mempengaruhi sedimentasi adalah panjang lereng, infiltrasi dan kemiringan lereng. Jadi faktor-faktor yang mempengaruhi SDR pada petak yang tidak ditanami adalah kemiringan lereng, erodibilitas tanah, panjang lereng, dan infiltrasi, dan SDR DAS yang tidak ditanami kemungkinan akan lebih besar. Berbeda dengan hasil penelitian lapangan, hasil penelitian dari laboratorium dengan rainfall simulator menunjukkan bahwa satuan debit sangat menentukan SDR, semakin tinggi satuan debit akan semakin tinggi SDR (Beuselinck *et al.*, 1998). Ditambahkan oleh Huang (1995) bahwa kehilangan sedimen di sungai sangat ditentukan oleh kekuatan aliran yang merupakan gabungan pengaruh kemiringan lereng dan aliran permukaan, dimana hasil sedimen yang terukur di muara sungai sangat menentukan SDR.

Prediksi SDR suatu DAS atau sub-DAS dilakukan dengan mengikuti prosedur yang dikemukakan oleh U.S. Forest Service (1980 dalam Morris dan Fan, 1998), menggunakan *stiff diagram*. Syarat menggunakan *stiff diagram* dalam menentukan erosi permukaan pada lahan pertanian dilakukan dengan prediksi erosi metode USLE. Selanjutnya, kondisi fisik DAS atau sub-DAS yang akan menentukan prediksi SDR dengan *stiff diagram*. Parameter-parameter fisik DAS yang menentukan prediksi SDR adalah tekstur tanah yang tererosi, aliran permukaan, kemiringan dan bentuk lereng, kondisi permukaan tanah atau penggunaan lahan dan jarak erosi lahan untuk mencapai sungai.

Komponen model AGNPS menggunakan persamaan dan metodologi yang telah banyak dikembangkan. Untuk model hidrologi, dalam perhitungan aliran permukaan dan laju aliran tertinggi didasarkan pada bilangan kurva aliran permukaan dari SCS (*soil conservation service*). Prediksi erosi permukaan dan transpor sedimen menggunakan modifikasi USLE. Prediksi interaksi antara hara/pestisida dengan pembentukan partikel tanah menggunakan CREAMS (*chemicals, runoff and erosion for agricultural management systems*). Untuk lebih jelasnya tahapan dan proses dari model AGNPS, disajikan *flowchart* model AGNPS (Gambar 7).

Kelebihan dan kekurangan

Kemampuan model AGNPS adalah: (1) dapat memprediksi erosi dengan hasil akurat di seluruh DAS berdasarkan parameter distribusi yang digunakan; (2) dapat mensimulasikan berbagai kondisi biofisik DAS secara bersamaan; (3) hasil prediksi model dapat meliputi aliran permukaan, hasil sedimen, kehilangan N dan P serta kebutuhan oksigen kimiawi, baik yang terjadi di dalam setiap sel maupun kontribusi dari sel yang lain; dan (4) dapat memprediksi DAS sampai mencapai luas 20.000 ha atau sebanyak 2.500 sel (Young dan Onstad, 1990; Sinukaban, 1997).

Kemampuan model prediksi SDR *stiff diagram* adalah sebagai berikut: (1) dapat memprediksi SDR suatu DAS; (2) dapat memprediksi erosi skala DAS (sedimen) secara sederhana; dan (3) dapat mensimulasi berbagai kondisi biofisik DAS serta berbagai kondisi erosi permukaan dan aliran permukaan yang terjadi.

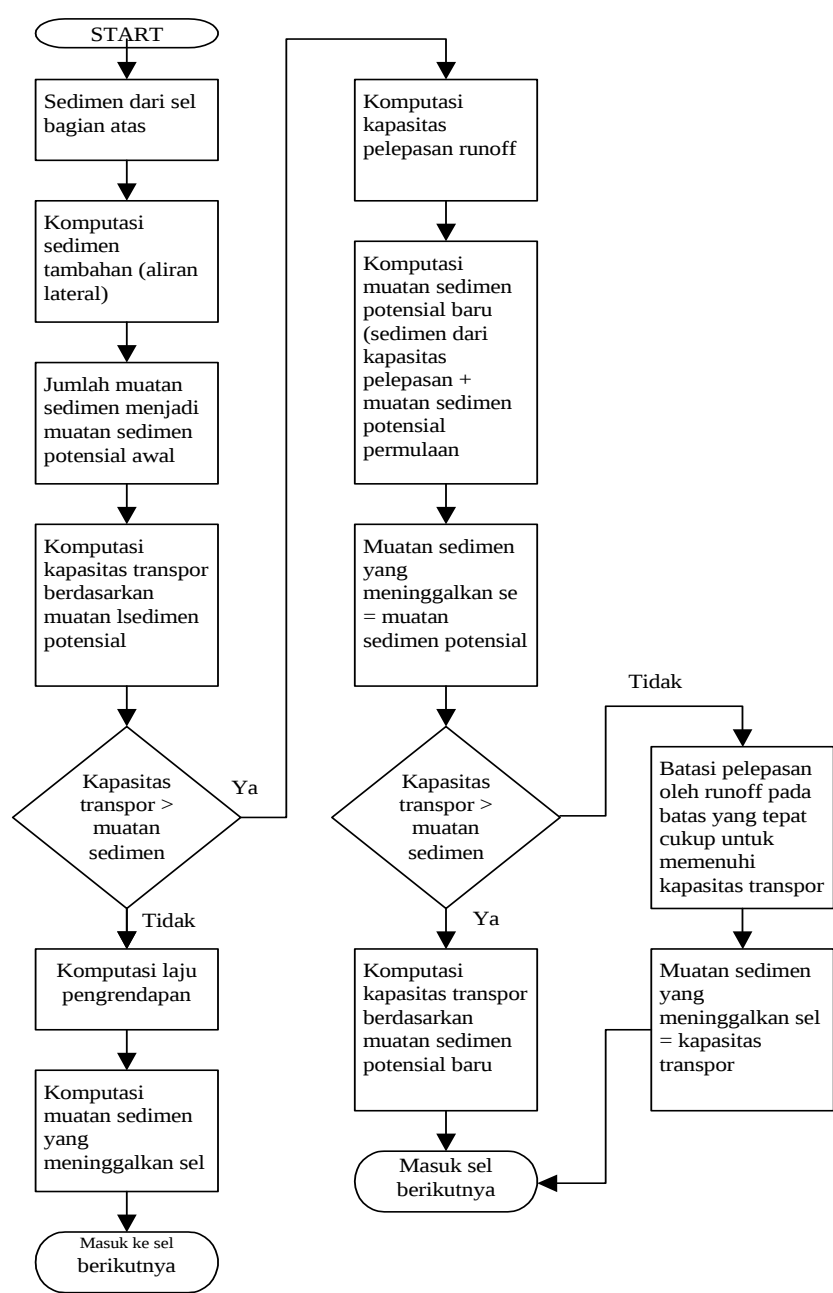
Kekurangan model AGNPS adalah: (1) *input* model yang digunakan sangat banyak; (2) keluaran aliran permukaan hanya berupa volume dan debit, tidak bisa menghasilkan hidrograf; dan (3) keluaran untuk erosi dan sedimen menggunakan satuan yang terlalu tinggi (ton) dan desimal yang digunakan terlalu sedikit, hanya 1. Demikian juga keluaran untuk volume dan laju puncak aliran permukaan terlalu tinggi, masing-masing dalam cm dan cfs.

Kekurangan model prediksi SDR *stiff diagram*, yaitu memerlukan data erosi permukaan.

Operasional Model AGNPS dan SDR Stiff Diagram

Dalam operasional perhitungan sedimen dengan menggunakan model AGNPS dibagi ke dalam beberapa tahap. Tahap pertama adalah perhitungan erosi inisial untuk seluruh sel dalam suatu DAS, yaitu melakukan pendugaan erosi permukaan, aliran permukaan, waktu hingga aliran permukaan terkonsentrasi, dan tingkat larutan polutan yang meninggalkan DAS dalam aliran permukaan.

Tahap kedua adalah perhitungan volume aliran permukaan yang meninggalkan sel yang mengandung endapan dan *impoundment* untuk sel utama. Tahap ketiga, melakukan perhitungan laju aliran permukaan terkonsentrasi, untuk menurunkan kapasitas transpor kanal dan untuk menghitung laju aliran endapan dan hara aktual.



Gambar 7. Diagram alir komputasi pelepasan-transpor-pengendapan oleh *runoff* dan aliran terkonsentrasi dalam suatu sel

Prediksi model SDR *stiff diagram* juga dilakukan dalam beberapa tahapan. Tahap pertama, menentukan nilai dari parameter yang diamati di lapangan dilanjutkan dengan memplotkan nilai parameter sesuai dengan ketentuan *stiff diagram* yang telah disiapkan. Tahap kedua adalah memplotkan persentase luas segi empat hasil perhitungan tersebut pada persentase area dari *stiff diagram* dan nilai prediksi SDR yang diperoleh.

Prediksi erosi skala DAS dengan model AGNPS

Tahap pertama prediksi erosi dengan AGNPS dimulai dari persiapan peta-peta pendukung dan penelusuran data sekunder yang diperlukan (buku manual AGNPS dan hasil penelitian C dan P atau CP) untuk masukan model.

Peta-peta pendukung didigitasi, bertujuan agar peta-peta tersebut dapat dianalisis dan dibandingkan. Selanjutnya dilakukan proyeksi peta yang seragam agar peta-peta yang terdiri atas berbagai sistem proyeksi dapat ditumpangtindihkan (*overlay*) dan dianalisis secara ruang. Digitasi peta dikerjakan dengan program *Arcinfo*-ADS. Untuk mengeditnya digunakan *Arcinfo* atau *Arc edit*. Konversi peta menjadi proyeksi peta yang seragam dikerjakan dengan sistem informasi geografi (SIG) *Arcinfo*.

Pembuatan arah aliran (*aspect*), dimulai dari digitasi peta topografi yang mempunyai skala besar (diusahakan skala 1:10 000). Selanjutnya dibuat DEM dengan *software* SIG. Setelah itu, dibuat arah aliran dengan program *PC RASTER-map/grid* dan yang terakhir melakukan pemeriksaan lapangan (*ground check*).

Penentuan indeks erosivitas hujan (R), sama seperti penentuan R dengan model USLE.

Penentuan macam penggunaan lahan dilakukan dengan cara menganalisis *landsat* yang telah di *geodetic reference* (ERDAS), dilanjutkan dengan melakukan sub-set lokasi dengan program ERDAS, sehingga didapat lokasi yang akan diprediksi. Penentuan faktor vegetasi dan pengelolaan tanaman serta faktor pengelolaan lahan/tindakan konservasi tanah (C dan P atau CP), sama seperti penentuan C dan P atau CP dengan model USLE.

Penentuan bilangan kurva aliran permukaan (CN) dilakukan berdasarkan penggunaan lahan, kelompok hidrologi tanah yang ditetapkan berdasarkan laju infiltrasi minimum, dan kandungan air tanah sebelumnya yang ditetapkan berdasarkan kedalaman hujan lima hari sebelumnya, selanjutnya ditentukan berdasarkan buku manual AGNPS (Young dan Onstad, 1994; Schwab *et al.*, 1981).

Penentuan koefisien kekasaran Manning (n) dilakukan berdasarkan jenis dan kondisi penutupan vegetasi di lapangan, selanjutnya ditentukan berdasarkan buku manual AGNPS (Young dan Onstad, 1994; Schwab *et al.*, 1981).

Penentuan konstanta kondisi permukaan (SCC) dilakukan berdasarkan penggunaan lahan/perlakuan yang diberikan di lapangan, selanjutnya ditentukan berdasarkan buku manual AGNPS (Young dan Onstad, 1994; Schwab et al., 1981).

Penentuan faktor kebutuhan oksigen kimiawi (CODF) dilakukan berdasarkan jenis penggunaan lahan di lapangan, selanjutnya ditentukan berdasarkan buku manual AGNPS (Young dan Onstad, 1994; Schwab et al., 1981).

Tingkat pemupukan dan faktor ketersediaan pupuk diperoleh dari hasil wawancara dengan petani yang arah aliran airnya masuk ke sungai utama atau petani yang ada di DAS.

Penentuan faktor erodibilitas tanah (K), sama seperti penentuan K dengan model USLE.

Harga masukan tesktur tanah dan indikator saluran merupakan hasil pengamatan di lapangan dan hasil analisis laboratorium.

Secara rinci masukan (*input*) dan keluaran (*output*) model AGNPS adalah sebagai berikut:

1). Masukan model AGNPS

a. Parameter masukan DAS

1. Nama dan keterangan DAS
2. Luas tiap sel
3. Jumlah sel
4. Curah hujan
5. Energi intensitas hujan (indeks erosivitas hujan)

b. Parameter masukan tiap sel

1. Nomor sel
2. Nomor sel penerima
3. Arah aliran (*aspect*, delapan arah mata angin)
4. Bilangan kurva aliran permukaan
5. Kemiringan lereng (%)
6. Faktor bentuk lereng (cekung, cembung dan datar)
7. Panjang lereng (feet)
8. Kemiringan lahan saluran rata-rata (%)
9. Koefisien kekasaran Manning's (n)
10. Faktor erodibilitas tanah (K)
11. Faktor penutupan vegetasi dan pengelolaan tanaman (C)
12. Faktor pengelolaan lahan tindakan konservasi tanah (P)
13. Konstanta kondisi permukaan (SCC)
14. Tekstur tanah (T)
15. Indikator penggunaan pupuk (FI)
16. Ketersediaan pupuk pada permukaan tanah (AF)

17. Indikator penggunaan pestisida (PI)
18. *Point source indicator* (PS)
19. Sumber erosi tambahan (AE)
20. Faktor kebutuhan oksigen kimiawi (COD)
21. Indikator *impoundment* (IF)
22. Indikator saluran (CI)

2). Keluaran model AGNPS

a. Keluaran DAS

1. Ketebalan dan laju puncak aliran permukaan
2. Sedimen, terdiri atas rata-rata erosi per satuan area, SDR, nisbah pengkayaan N dan P, rata-rata sedimen per satuan area dan total hasil sedimen.

b. Keluaran sel

1. Volume aliran permukaan (inches)
2. Laju puncak aliran permukaan (cfs)
3. Aliran permukaan tiap sel (cfs)
4. Sedimentasi setiap sel atau sedimentasi secara spasial (total dan tiap partikel) (tons)
5. Konsentrasi sedimen (ppm) secara spasial atau tiap sel.
6. Distribusi sedimen tiap partikel (tons)
7. Erosi permukaan setiap sel (tons) atau erosi permukaan secara spasial.
8. Erosi saluran (tons)
9. Jumlah deposisi (%) secara spasial.
10. Nisbah pengkayaan
11. *Sediment delivery ratio* (SDR)
12. Kandungan N (total) dalam sedimen (lbs/acre)
13. Konsentrasi N (ppm)
14. *Mass N of soluble material in runoff* (lbs/acre)
15. Kandungan P dalam sedimen (lbs/acres)
16. Konsentrasi P (ppm)
17. Jumlah P dalam aliran permukaan (lbs/acre)
18. Konsentrasi COD (ppm)
19. Jumlah COD (lbs/acre)

Prediksi erosi skala DAS dengan SDR *stiff diagram*

Secara teoritis prediksi erosi DAS dengan SDR *stiff diagram* seperti yang dikemukakan oleh U.S. Forest Service (1980 dalam Morris dan Fan, 1998) adalah:

$$Y_{(t)} = SDR_{(prediksi)} \cdot A_{(USLE)}$$

Keterangan:

$Y_{(t)}$ = hasil sedimen di muara

$SDR_{(prediksi)}$ = SDR hasil prediksi erosi dengan *stiff diagram*

$A_{(USLE)}$ = prediksi erosi dengan USLE

Tetapi dalam pelaksanaannya, prediksi SDR *stiff diagram* dimodifikasi menjadi:

$$Y_{(t)} = SDR_{(prediksi)} \cdot A_{(percobaan)}$$

Keterangan:

$Y_{(t)}$ = hasil sedimen di muara

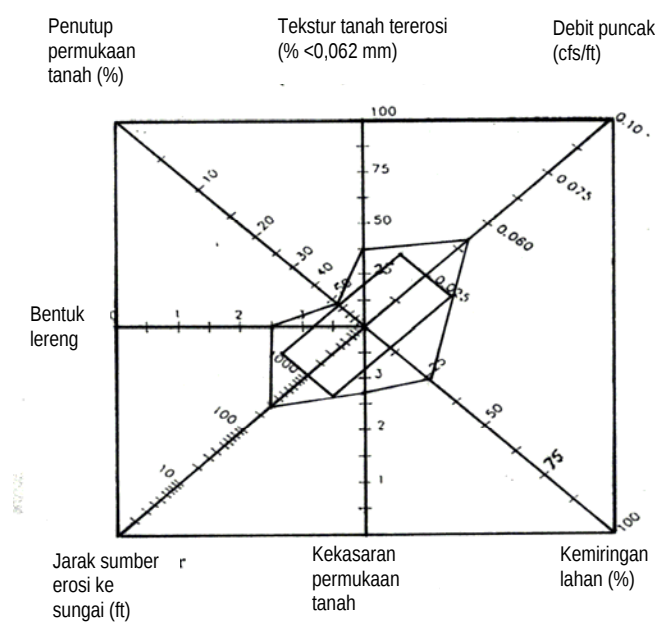
$SDR_{(prediksi)}$ = SDR hasil prediksi erosi dengan *stiff diagram*

$A_{(percobaan)}$ = erosi pada lahan pertanian hasil pengamatan *soilpan*

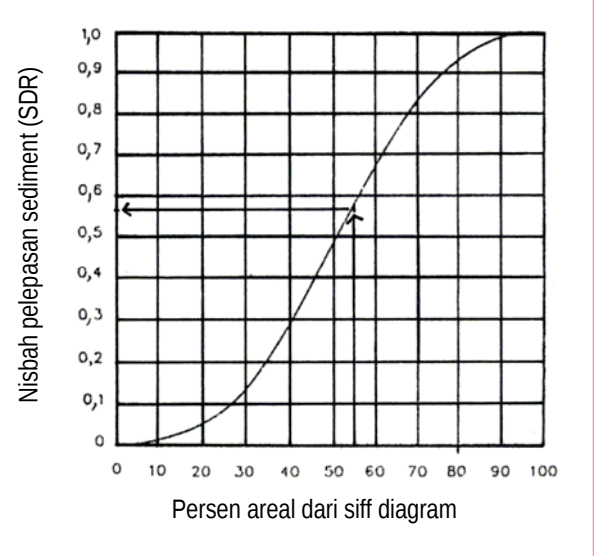
Data yang diperlukan untuk prediksi SDR (*stiff diagram*) adalah:

- Aliran permukaan (cfs/ft)
- Kemiringan lahan (%)
- Kekasaran permukaan (licin atau *smooth*, licin-kasar, kasar, kasar-sangat kasar dan sangat kasar)
- *Delivery distance* (feet)
- Bentuk lereng (cembung, cembung-seragam, seragam, cekung-seragam dan cekung)
- Persentase penutupan permukaan tanah (%)
- Tekstur tanah yang tererosi (mm).

Nilai parameter yang telah diukur (diamati) di lapangan, diplotkan pada absis *stiff diagram* (Gambar 8), kemudian satu sama lain dihubungkan, maka akan terbentuk suatu poligon. Selanjutnya persentase luas segi empat yang dibuat di dalam poligon dihitung terhadap total luas poligon. Setelah diperoleh persentasenya, kemudian diplotkan pada persentase area dari *stiff diagram* (Gambar 9), lalu ditarik garis lurus ke arah ordinat (Y), maka akan di dapat nilai SDR.



Gambar 8. Ploting nilai variabel pada *stiff diagram* untuk menentukan persen area *stiff diagram*

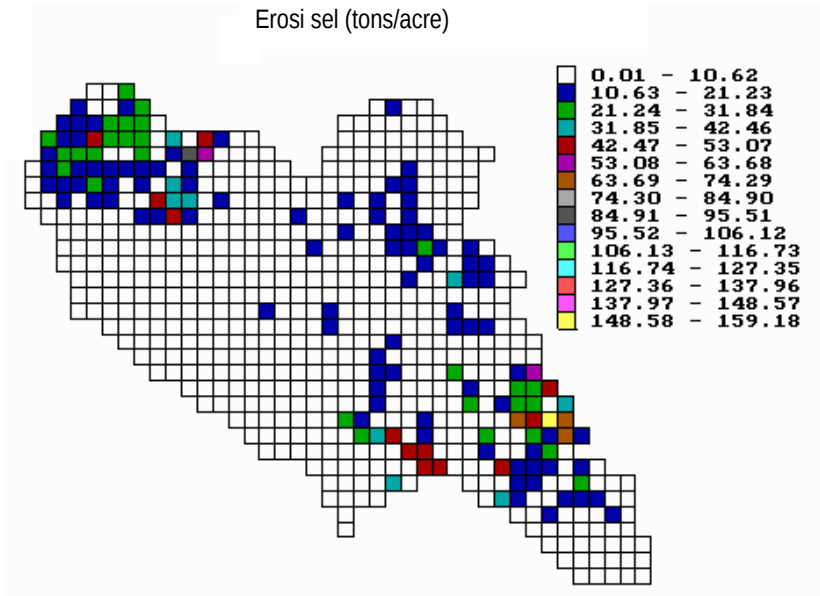


Gambar 9. Ploting variabel prediksi SDR pada absis *stiff diagram* untuk menentukan SDR

Hasil Prediksi Model AGNPS dan Prediksi SDR *Stiff Diagram*

Model AGNPS

Contoh hasil prediksi model AGNPS adalah DAS Cilalawi, Purwakarta, Jawa Barat (Gambar 10). Keluaran model AGNPS dapat menentukan lokasi kerusakan lahan di DAS Cilalawi secara akurat, yang direpresentasikan sebagai erosi yang besar pada permukaan lahan.



Gambar 10. Hasil prediksi erosi permukaan DAS Cilalawi dengan model AGNPS

Berdasarkan hasil prediksi model AGNPS dapat diketahui secara spasial lokasi atau daerah dengan jumlah erosi permukaan sangat besar. Erosi permukaan yang paling besar terjadi 393,33 t ha⁻¹ yaitu di Desa Gunung Hejo, Kecamatan Darangdan, dengan letak geografis 06°40'15" Lintang Selatan dan 107°25'00" Bujur Timur (Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, 2003). Erosi berat yang terjadi disebabkan akibat kondisi penggunaan lahan yang didominasi oleh tegalan yang banyak terbuka dengan pertanaman tidak mengikuti kontur dan sebagian besar kemiringan lahan agak curam (19%). Demikian juga erosi permukaan daerah di sekitarnya, berkisar antara 26,27 t ha⁻¹ dan 224,39 t ha⁻¹, penyebabnya adalah penggunaan lahan yang jelek yang didominasi oleh tegalan dan kebun campuran.

Selanjutnya, lokasi atau daerah-daerah yang mengalami erosi berat sampai sedang dianalisis untuk menentukan tindakan konservasi tanah yang tepat agar erosi berkurang. Penghijauan adalah salah satu usaha untuk mengurangi erosi permukaan, sedimen dalam sungai dan *runoff*. Oleh karena itu, penghijauan harus dilakukan pada lokasi yang tepat agar efektif mengurangi erosi, sedimen dan *runoff*. Jadi, walaupun jumlah penghijauan sedikit, bila ditanam pada lokasi yang tepat, hasilnya akan baik.

Simulasi model AGNPS dengan penerapan penghijauan atau penggunaan lahan yang dihutankan seluas 5 dan 10 persen dari luas DAS Cilalawi memperlihatkan hasil yang memuaskan ditinjau dari segi pengurangan erosi (Tabel 4).

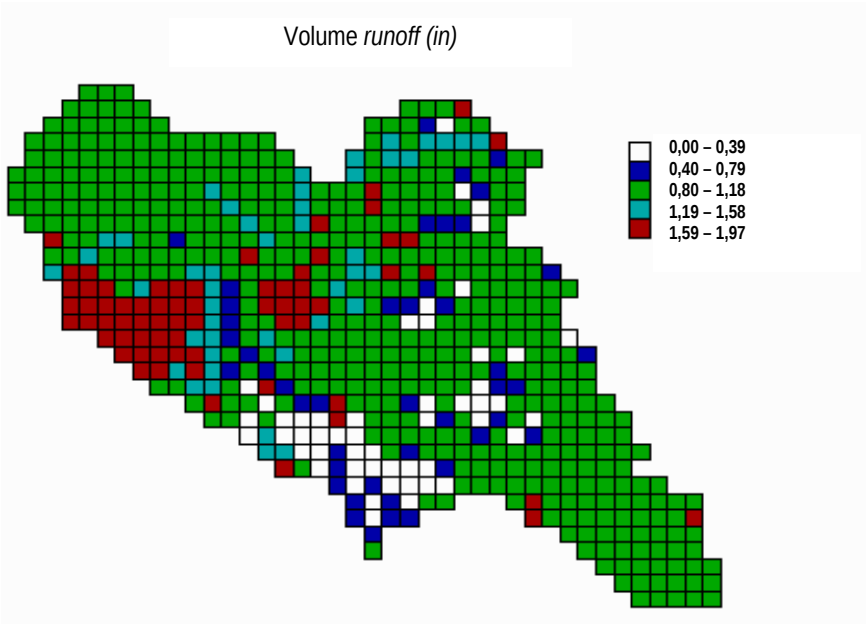
Tabel 4. Hasil simulasi erosi, sedimen dan *runoff* model AGNPS dengan penghijauan seluas 5 dan 10% dari luas DAS di sub-DAS Cilalawi

Penggunaan lahan	Erosi	Sedimen	<i>Runoff</i>	<i>Peak runoff</i>
	t ha ⁻¹	t	cm	m ³ detik ⁻¹
Tahun 2002, luas hutan = 1% luas DAS	393,33	14504,30	2,79	67,95
Luas hutan + 5 % luas DAS	73,46	10765,40	2,54	65,17
Luas hutan + 10 % luas DAS	51,84	8634,00	2,54	61,89

Sumber: Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, 2003.

Langkah awal untuk menurunkan *runoff* atau meningkatkan cadangan air tanah DAS Cilalawi, diperlukan informasi lokasi *runoff* yang tinggi secara spasial. Untuk itu hasil prediksi model AGNPS (Gambar 10) dapat digunakan sebagai dasar penentuan tindakan konservasi tanah yang harus dilakukan atau pembangunan dam parit yang dapat menurunkan *runoff* secara langsung dan meningkatkan cadangan air tanah.

Berdasarkan Gambar 11, *runoff* yang paling besar di DAS Cilalawi terjadi di daerah batas sub-DAS sebelah barat yaitu antara 1,85 – 1,97 inchi atau 4,70 – 5,00 cm tepatnya di sekitar Desa Gandamekar, Kecamatan Plered dan posisi geografisnya terletak pada 06°40'10" Lintang Selatan dan 107°22'20" Bujur Timur. Besarnya *runoff* di daerah ini disebabkan limpahan aliran permukaan dari daerah bukit-bukit di sekitar Desa Mekarsari, dimana bukit-bukit yang seharusnya tertutup tanaman atau hutan sebagian besar menjadi pemukiman dan kebun campuran, dan pada daerah-daerah yang tersedia air telah dijadikan sawah bertingkat atau sawah pegunungan.



Gambar 11. Hasil prediksi volume *runoff* DAS Cikao dengan model AGNPS

Prediksi SDR *stiff diagram*

Sebagai contoh hasil prediksi SDR model prediksi *stiff diagram* yang dilakukan di sub-DAS Ciliwung Hulu 1, 2, dan 3 disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil prediksi SDR *stiff diagram* sub-DAS Ciliwung Hulu 1, 2, dan 3 dan pengujiannya

Erosivitas	Curah hujan	SDR	SDR	SDR
		Ciliwung Hulu 1	Ciliwung Hulu 2	Ciliwung Hulu 3
mm				

5,80	25	0,40	0,78	0,55
8,92	33,2	0,40	0,53	0,55
1,93	12,6	0,41	0,46	0,50
3,37	11,2	0,41	0,45	0,54
17,95	21,6	0,41	0,53	0,55
1,75	20	0,40	0,53	0,54
19,51	23,6	0,39	0,49	0,55
34,51	28,6	0,40	0,78	0,56
10,48	18,4	0,37	0,49	0,54
1,74	16,2	0,41	0,34	0,54
t tabel, 0,05		2,101	2,101	2,101
t hitung		-0,90	2,090	2,090

Sumber: Sutrisno, 2002.

Hasil prediksi SDR *stiff diagram* sangat bervariasi tergantung masukan dari variabel-variabel yang terjadi akibat adanya hujan yang menimbulkan aliran permukaan dan erosi. Prediksi SDR tertinggi terjadi pada sub-DAS Ciliwung 2, yaitu 0,78, demikian juga yang terendah terjadi pada sub-DAS Ciliwung 2, yaitu 0,34.

Erosi dari sub-DAS atau sedimen sungai Ciliwung Hulu 1, 2, dan 3 yang diprediksi dengan SDR dan erosi dari lahan hasil pengukuran *soilpan* disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil prediksi sedimen sub-DAS Ciliwung Hulu 1, 2, dan 3 berdasarkan SDR *stiff diagram* dan pengujiannya

Erosivitas	Curah hujan	Sedimen	Sedimen	Sedimen
		Ciliwung Hulu 1	Ciliwung Hulu 2	Ciliwung Hulu 3
	mm	kg ha ⁻¹ mmHM ⁻¹		
5,80	25,0	0,31	2,64	0,61
8,92	33,2	0,14	6,55	1,16
1,93	12,6	0,53	1,44	0,31
3,37	11,2	0,82	0,86	0,80
17,95	21,6	0,18	2,04	0,36
1,75	20,0	0,37	3,51	1,36
19,51	23,6	0,33	3,04	1,27
34,51	28,6	0,38	13,19	2,63
10,48	18,4	0,73	1,64	0,34
1,74	16,2	0,57	1,09	0,27
t tabel, 0,05		2,101	2,101	2,101
t hitung		0,706	-1,556	0,684

Sumber: Sutrisno, 2002
Keterangan: mmHM adalah mm hujan deras minimum

Hasil prediksi sedimen sungai tertinggi berdasarkan prediksi SDR *stiff diagram* terjadi pada sub-DAS Ciliwung Hulu 2, yaitu 13,19 kg ha⁻¹ mmHM⁻¹, dan yang terendah terjadi pada sub-DAS Ciliwung Hulu 1 yaitu sebesar 0,05 kg ha⁻¹ mmHM⁻¹. Hasil prediksi sedimen demikian disebabkan adanya perbedaan erosi lahan hasil pengamatan dari *soilpan*, debit puncak, kemiringan lahan, kekasaran permukaan tanah, jarak sumber erosi ke sungai, bentuk lereng dan penutupan permukaan tanah.

EROSI YANG DAPAT DITOLERANSIKAN

Tanah sebagai salah satu sumberdaya alam mempunyai dua fungsi utama, yaitu (1) sebagai sumber unsur hara bagi tanaman dan (2) sebagai matrik tempat akar tanaman berjangkar dan air tanah tersimpan, serta tempat unsur hara dan air diberikan. Kedua fungsi tanah tersebut dapat turun dan hilang, dan selanjutnya akan terbentuk tanah yang rusak atau tanah yang terdegradasi. Hilangnya fungsi pertama dengan mudah dapat diperbaiki dengan menambahkan pupuk, namun untuk kerusakan fungsi kedua tidak dengan mudah diperbaharui karena diperlukan waktu yang sangat lama untuk pembentukan tanah.

Kerusakan fungsi tanah ini pada umumnya sering terjadi karena erosi yang berkelanjutan. Namun demikian, pada lahan berlereng tidaklah mungkin untuk menekan laju erosi sampai nol, apalagi kalau lokasi itu diusahakan dengan usaha tani tanaman semusim (perladangan). Oleh karena itu, sangat diperlukan batasan-batasan sampai sejauh mana erosi tanah tersebut dapat ditoleransikan agar tidak sampai mengganggu produktivitasnya. Laju erosi yang dapat ditoleransikan adalah besarnya erosi yang masih dapat dibiarkan agar terpelihara suatu kedalaman tanah yang cukup untuk pertumbuhan tanaman dan tercapainya produktivitas yang tinggi secara lestari. Dari definisi ini, tampak bahwa sebagai landasan utama dalam penetapan tingkat erosi yang masih dapat ditoleransikan adalah kedalaman solum tanah, sehubungan dengan perbandingan kecepatan pembentukan tanah dengan jumlah atau tebal erosi yang terjadi.

Di Indonesia beberapa cara penetapan batas laju erosi yang dapat ditoleransikan yang umum digunakan, diantaranya Thompson (1975), Wood de Dent (1983), Hammer (1981).

Thompson (1957) menyarankan agar laju erosi yang dapat ditoleransikan didasarkan pada kedalaman solum tanah, permeabilitas tanah lapisan bawah, dan kondisi substratum. Tabel 7 menunjukkan nilai laju erosi yang dapat ditoleransikan berdasarkan sifat-sifat tanah dan substratum.

Tabel 7. Besaran laju erosi yang dapat ditoleransikan menurut Thompson (1957)

No.	Sifat tanah dan substratum	Erosi yang dapat ditoleransikan
-----	----------------------------	---------------------------------

	t ha ⁻¹ tahun ⁻¹
1. Tanah dangkal di atas batuan	1,12
2. Tanah dalam di atas batuan	2,24
3. Tanah dengan lapisan bawah padat diatas substrata yang tidak terkonsolidasi (tidak mengalami pelapukan)	4,48
4. Tanah dengan lapisan bawah berpermeabilitas lambat, di atas bahan yang tidak terkonsolidasi	8,96
5. Tanah dengan lapisan bawah berpermeabilitas sedang, di atas bahan yang tidak terkonsolidasi	11,21
6. Tanah yang lapisan bawahnya permeabil (agak cepat), di atas bahan yang yang tidak terkonsolidasi	13,45

Sumber: Arsyad. (1989)

Pendekatan lain yang dilakukan oleh Hammer (1981) dan Hammer *dalam* Wood dan Dent (1983) yaitu dengan memperhitungkan ketebalan tanah minimum dan jangka waktu penggunaan tanah yang diinginkan (*resource life*). Konsep ini menggunakan kedalaman tanah ekuivalen dan umur guna tanah untuk menetapkan erosi yang dapat ditoleransikan. Kedalaman tanah ekuivalen adalah hasil perkalian kedalaman tanah efektif dan nilai faktor kedalaman tanah (Tabel 8). Hammer (1981) menetapkan nilai faktor kedalaman tanah didasarkan pada laju kemerosotan produktivitas tanah sampai 60% sebagai akibat erosi.

Tabel 8. Nilai faktor kedalaman beberapa sub-ordo tanah

No.	Tanah (sub-ordo)	Nilai faktor kedalaman tanah
1.	Alboll	0,75
2.	Udult, Ustul	0,80
3.	Aqualf, Udolf, Usof, Aquent, Aquoll, Rendoll, Aquox, Orthox, Ustox, Aquod	0,90
4.	Aquept, Ferrod	0,95
5.	Arent, Fluvent, Orthent, Psamment, Audopt, Tropept, Udoll, Ustoll, Huamox, Humod, Humult, Udert, Ustert	1,00

Sumber: Hammer. (1981)

Wischmeier dan Smith (1978) mengatakan bahwa nilai laju erosi yang dapat ditoleransikan untuk tanah-tanah di Amerika Serikat berkisar antara 11,2 sampai 4,5 t ha⁻¹. Ketetapan ini didasarkan kepada faktor kedalaman tanah, ciri-ciri fisik serta sifat-sifat tanah yang mempengaruhi perkembangan akar tanaman, pencegahan terbentuknya erosi parit dan lain-lain.

Adapun untuk tanah-tanah di Indonesia; Arsyad (1989) menyarankan agar mengambil pedoman kepada konsep pendekatan yang dikemukakan oleh

Thompson (1957). Penilaian ini didasarkan kepada ketebalan solum tanah, permeabilitas tanah dan kondisi substrata di bagian bawah.

Erosi yang dapat ditoleransikan bukan saja ditujukan untuk mempertahankan produktivitas tanah, tetapi dapat juga bertujuan untuk mengendalikan laju pendangkalan waduk, ataupun untuk mengantisipasi pencemaran kualitas air sungai yang sering digunakan sebagai bahan baku air minum. Umumnya besaran erosi yang dapat ditoleransikan untuk keperluan kedua hal diatas lebih ketat dibandingkan untuk memperbaiki produktivitas tanah pertanian.

Erosi yang dapat ditoleransikan (*tolerable soil loss, TSL*) juga dapat digunakan untuk membuat simulasi perencanaan pengelolaan DAS. Rumus yang digunakan juga masih mengadopsi rumus Hammer dengan menambahkan nilai laju pembentukan tanah, sebagai berikut:

$$TSL = \frac{DE - D_{\min}}{UGT} + LPT$$

Keterangan:

TSL = erosi yang dapat ditoleransikan (mm tahun⁻¹);
 DE = kedalaman ekivalen (*equivalent depth*)= De x Fd;
 De = kedalaman efektif tanah (mm);
 Fd = faktor kedalaman menurut Sub-Ordo tanah;
 D_{min} = kedalaman tanah minimum yang sesuai untuk tanaman (mm);
 UGT = umur guna tanah (digunakan 400 tahun); dan
 LPT = laju pembentukan tanah (mm tahun⁻¹), untuk tanah tropika sebesar 2,5 mm tahun⁻¹ (Hardjowigeno, 1978 penelitian di Gunung Krakatau dalam Arsyad, 1989).

PENUTUP

Semua model yang telah diuraikan seperti USLE, GUEST, AGNPS dan SDR *stiff diagram* bila digunakan untuk prediksi erosi harus disadari mempunyai kelebihan-kelebihan dan kekurangan-kekurangan. Pemilihan model prediksi erosi harus dilakukan secara hati-hati dan sesuai atau harus mendekati kenyataan yang terjadi di lapangan.

Untuk skala plot (petak erosi) dapat digunakan model USLE, sedangkan ukuran petak kemungkinan dapat sampai 1.000 m² dengan lereng yang mutlak seragam. Model GUEST dapat diaplikasikan pada bentang lahan atau lanskap sampai DAS yang berukuran 150-200 ha, sedangkan AGNPS dapat mencakup luasan DAS lebih besar dari 200 ha.

Selain ukuran skala lahan, model yang dipilih harus disesuaikan dengan ketersediaan data dan peralatan pengukuran. Artinya, pemilihan model dilakukan dengan mempertimbangkan parameter yang diminta untuk *input* data model mudah diperoleh dan alat untuk mengukurnya tersedia.

Untuk simulasi model dalam perencanaan pengelolaan DAS harus dilakukan dengan mempertimbangkan nilai erosi yang dapat ditoleransikan penilaian sehingga lahan yang digunakan tetap lestari dan bila memungkinkan dilakukan aspek ekonomi yang menguntungkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S. 1989. Konservasi Tanah dan Air. Cetakan Kedua. Institut Pertanian Bogor Press, Darmaga, Bogor.
- Arsyad, S. 2000. Konservasi Tanah dan Air. Pembrit. IPB/IPB Pros. Cetakan ke tiga. Dargama, Bogor.
- Asdak, C. 1995. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Cetakan Pertama. Gadjah Mada University Press, Bulaksumur, Yogyakarta.
- Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi. 2003. Laporan Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan terhadap Aliran Permukaan, Sedimen dan Produksi Air Daerah Aliran Sungai. Balai Penelitian Tanah dan Agroklimat-Perum PJT II.
- Beuselinck, L., G. Govers, A. Steegen and Hairsine PB. 1998. Experiments on sediment deposition by overland flow. hlm 91-96. *dalam* W.Summer, E.Klaghofer, W.Zhang, editor. Modelling Soil Erosion, Sediment Transport and Closely Related Hydrological Processes. IAHS Publication No. 249.
- Bingner, R. L. 1990. Comparison of the components used in several sediment yield models. Soil and Water Div. of ASAE. Vol.33 (4): 1229-1239.
- Bingner, R. L., C.K. Mutchler, and C.E. Murphree. 1992. Predictive capabilities of models for different storm sizes. Soil and Water Div. of ASAE.Vol 35 (2): 505-513.
- Dariah, A. 2004. Tingkat Erosi dan Kualitas Tanah pada Lahan Usahatani Berbasis Kopi di Sumber Jaya, Lampung Barat. (Disertasi) Institut Pertanian Bogor, Sekolah Pascasarjana. Bogor.
- Ebisemiju, F. S. 1990. Sediment delivery ratio prediction equations for short catchment slopes in a humid tropical environment. J. of Hydrology, 114: 191-208.

- Eiumnoh, A., S. Pongsai, and A. Sewana. 2002. Dynamic Soil Erosion Model (MSEC 1): An Integration of Mathematical Model and PCRaster-GIS *In*: Integrated Catchment Management for Land and Water Conservation and Sustainable Agricultural Production in Asia – Proceeding of the 6th Management of Soil Erosion Consortium (MSEC) Assembly. (Ed.: Maglinao, A.R.) Thailand: IWMI Southeast Asia Regional Office, Bangkok. 29p.
- Guluda, D.R., 1996. Penggunaan model AGNPS untuk memprediksi aliran permukaan, sedimen, dan hara N, P dan COD di daerah tangkapan Citere, sub DAS Citarik, Pangalengan. (Tesis Magister). Bogor: Institut Pertanian Bogor, Program Pascasarjana.
- Huang, C.H. 1995. Empirical analysis of slope and runoff for sediment delivery from interrill areas. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59(4):982-990.
- ICRAF (International Center for Research AgroForestry). 2001. Modelling Erosion at Different Scales, Case Study in The Sumber Jaya Watershed, Lampung, Indonesia. Internal Report (*Unpublished*). Bogor. 84p.
- Klaghofer, E., W. Summer, and J. P. Villeneuve. 1992. Some remark on the determination of the sediment delivery ratio. *dalam* Walling DE, Davies TR, Hasholt, B (Eds.). *Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions*. IAHS Publication No. 209.
- Lal, R. 1986. Deforestation and Soil Erosion. *In*: R. Lal, P.A. Sanchez, R.W. Cumming, JR (Eds.) *Land Clearing and Development in the Tropics*. Boston. p. 299-316.
- Lal, R. 1994. Soil Erosion by Wind and Water: Problem and Prospects. *In*: R, Lal (Ed.). *Soil/Erosion Research Methods*. Soil and Water Conservation Society. Florida. p: 1-10.
- Lo, K.F.A. 1995. Erosion assessment of large watersheds in Taiwan. *Journal of Soil and Water Conservation*. 50 (2): 180-183.
- Morgan, R.P.C. 1979. *Soil Erosion*. Longman. London.
- Nearing, M.A., L.J. Lane, and V.L. Lopes. 1994. Modelling Soil Erosion. *In*: Lal, R. (Ed.). *Soil Erosion Methods*. Soil and Water Conservation Society. Florida. p: 127-158.
- Paningbatan, E.P. 2001. GIS – Assisted Modelling of Soil Erosion and Hidrology Processes at Watershed Scale. Paper presented during the 10th Year Anniversary of the Institute of Agroforestry, University of the Philipines Los Banos, College, Laguna on June25, 2001 (*Unpublised*). 10p.
- Paningbatan, E.P. 2001. Hydrology and soil erosion model for catchment research and management *In*: p: 17-22. *Soil Erosion Management Research in Asian*

- Catchments: Methodological Approaches and Initial Results – Proceeding of the 5th Management of Soil Erosion Consortium (MSEC) Assembly. (Ed.: Maglinao, A.R. and R.N. Leslie) Thailand: IWMI Southeast Asia Regional Office, Bangkok.
- Rose, C.W. 1998. Modelling Erosion by Water and Wind *In: Methods for Assessment of Soil Degradation. Advances in Soil Sciences. (Ed.). Lal, R., W.H. Blum, C. Valentine, and B.A. Stewart). CRC Press LLC, Boca Raton, Florida. p: 57-88.*
- Rose, C.W. and Hairsine, P.B. 1988. Process of Water Erosion. *In: Steffer, W.L. and O.T. Demead (Eds.). Flow and Transport in The Natural Environment. Springer-Verlag, Berlin. p. 312-316.*
- Rose, C.W. 1998. Modelling erosion by water and wind. *In: Methods for assessment of soil degradation. Advances in Soil Sciences (Eds.). Lal, R., W.H. Blum, (Valentine and B.A. Stewart). Florida. p. 57-88.*
- Rose, C.W. and D.M. Freebairn. 1985. A new mathematical model of soil erosion and deposition processes with applications to field data *In: p: 549-557. Soil Erosion and Conservation (Ed.: El-Swaify, S.A., W.C. Moldenhauer, and A. Lo). Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa.*
- Rose, C.W., J.R. Williams, G.C. Sander, and D.A. Barry. 1983. A mathematical model of soil erosion and deposition processes I. Theory for a plane element. *Soil Science Society of America Journal 47: 991-995.*
- Rose, C.W., K.J. Coughland, C.A.A. Ciesiolka, and B. Fentie. 1997. Program GUEST (Griffith University Erosion System Template) *In: A New Soil Conservation Methodology and Application to Cropping Systems in Tropical Steeplands. (Ed.: Coughlan, K.J. and C.W. Rose). ACIAR Technical Reports, No. 40, Canberra. p: 34-58.*
- Rose, C.W., K.J. Coughland, C.A.A. Ciesiolka, and B. Fentie. 1997. The Role of Cover in Soil Conservation *In: A New Soil Conservation Methodology and Application to Cropping Systems in Tropical Steeplands. (Ed.: Coughlan, K.J. and C.W. Rose). ACIAR Technical Reports, No. 40, Canberra. p: 59-78.*
- Schmitz dan Tameling. 2000. Modelling erosion at different scales, Case Study in the Sumber Jaya Watershed, Lampung, Indonesia.
- Schmitz dan Tameling. 2000. Modelling erosion at different scales, A. Preliminary Virtual Exploration of Sumber Jaya Watershed, International Center For Soil Research in Agroforestry (ICRAF), Bogor. (*unpublished*)
- Schwab, G.O., R.K. Frevert, T.W. Edminster, and K.K. Barnes. 1981. Soil and Water Conservation Engineering. Third Edition. John Wiley & Sons. New York.

- Shen, H.W and P.Y. Julien. 1992. Erosion and sediment transport. hlm 12.1-12.61. *dalam* Maidment DR editor Handbook of Hydrology. McGraw Hill. INC. New York.
- Sinukaban, N. 1997. Penggunaan model WEPP untuk memprediksi erosi. *dalam* Collate Information and Analyzed Assessment Effect on Land Use on Soil Erosion. Pusat Penelitian Hutan, (Tidak dipublikasi).
- Sinukaban, N., S.D. Tarigan, and Y. Hidayat. 2000. Role of Faddy Rice Fields (Sawah) as Sediment Filter in Agroforestry Mosaics. Study Program of Watershed Management (PS DAS). Institut Pertanian Bogor in association with International Center for Research in Agroforestry (ICRAF), Bogor.
- Sinukaban, N., S.O. Tarigan, W. Purwakusuma, DPT Baskoro, and E.D. Wahyuni. 2000. Analysis of watershed functions. Sediment transfer across various types of filter strips. Institut Pertanian Bogor.
- Sutrisno, N. 2002. Metode Pendugaan Erosi Skala Daerah Aliran Sungai Berdasarkan Erosi Petak Kecil. Disertasi. Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Tarigan, S.D. dan N. Sinukaban. 2000. Peran Sawah sebagai Filter Sedimen: Studi Kasus di DAS Way Besai, Lampung. Prosiding Seminar Nasional Multifungsi Lahan Sawah. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat bekerjasama dengan MAFF Jepang dan Sekretariat ASEAN.
- Van der Poel dan K. Subagyo. 1998. The Use of USLE in The RTL Process. National Watershed Management and Conservation Project. Bogor.
- Viessman, W., J.W. Knapp, G.L. Lewis, and T.E. Harbaugh. 1977. Introduction to Hydrology. Harper and Row Publishers. New York.
- Wang, H.J., and Y.C. Cheng. 1999. Sustainable development of slope lands uses: The case of Shui-Li Creek Watershed. *dalam* Singh VP et al. 1999, (Eds.) Water Resources Planning and Management. Water Resources Publication, LLC.
- Wischmeier, W.H. 1976. Use and Misuse of the Universal Soil Loss Equation. Journal of Soil and Water Conservation, January-February 1976.
- Wischmeier, W.H., and D.D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning. Agriculture Handbook No. 537. U.S. Departement of Agriculture, Washington DC. 58p.
- Wood, S.R. and F.J. Dent. 1983. LECS. A Land Evaluation Computer System Methodology. Center for Soil Research, Bogor-AARD-AGRF/INS-78/006. Manuals Version I.

- Young, R.A., and C.A. Onstad. 1990. AGNPS (Agricultural Non-Point Source Pollution Model). User's Guide Version 3.51. USDA-ARS, Morris, Minnesota.
- Young, R.A., and C.A. Onstad. 1994. Agricultural Non-Point Source Pollution Model, Version 4.03 AGNPS User's Guide. North Central Soil Conservation Research Laboratory Morris, MN.
- Yu, B., C.W. Rose, K.J. Coughland, and B. Fentie. 1997. Plot-scale runoff modelling for soil erosion predictions *In*: p:24-33. A New Soil Conservation Methodology and Application to Cropping Systems in Tropical Steeplands. (Ed.: Coughlan, K.J. and C.W. Rose). ACIAR Technical Reports 40, Canberra.

4. TEKNOLOGI KONSERVASI TANAH VEGETATIF

Djoko Santoso, Joko Purnomo, I G. P. Wigena, dan Enggis Tuherkih

Usaha tani tanaman pangan secara intensif dan menetap pada lahan kering di daerah hujan tropis dihadapkan pada masalah penurunan produktivitas lahan. Salah satu penyebabnya adalah tanahnya peka erosi, berlereng, masam dan miskin unsur-unsur hara. Untuk mencapai keberlanjutan produktivitas lahan perlu tindakan konservasi tanah dan air, serta mencegah hanyutnya serasah dan humus tanah. Tujuan ini dapat dicapai dengan menerapkan teknologi konservasi tanah secara vegetatif dan mekanik. Konservasi tanah pada lahan pertanian tidak hanya terbatas pada usaha untuk mengendalikan erosi atau aliran permukaan, tetapi termasuk usaha untuk mempertahankan kesuburan tanah. Konservasi tanah vegetatif mencakup semua tindakan konservasi yang menggunakan tumbuh-tumbuhan (vegetasi), baik tanaman legum yang menjalar, semak atau perdu, maupun pohon dan rumput-rumputan serta tumbuh-tumbuhan lain, yang ditujukan untuk mengendalikan erosi dan aliran air permukaan pada lahan pertanian. Tindakan konservasi tanah vegetatif tersebut sangat beragam, mulai dari pengendalian erosi pada bidang olah atau lahan yang ditanami dengan tanaman utama, sampai dengan stabilisasi lereng dari bidang olah, saluran pembuangan air (SPA), maupun jalan kebun.

Untuk mencapai hasil maksimum dalam mengendalikan erosi dan aliran permukaan, sebaiknya tindakan konservasi tanah vegetatif dikombinasikan dengan teknik konservasi tanah mekanik. Dalam bab ini diuraikan delapan jenis teknologi konservasi tanah vegetatif, yaitu: budi daya lorong, wanatani, penutup tanah, penanaman rumput, pupuk hijau, mulsa, pola tanam, dan pematah angin.

BUDI DAYA LORONG

Tantangan bagi para peneliti tanaman pangan semusim pada lahan kering di daerah hujan tropis adalah untuk menemukan sistem pertanian yang produktif, berkelanjutan dan ramah lingkungan, sebagai pengganti sistem perladangan berpindah atau sistem tebang-bakar yang telah lama dilakukan oleh petani. Sistem perladangan berpindah sudah tidak sesuai dan tidak dapat dilakukan lagi, terutama karena tekanan kepadatan penduduk dan keperluan penggunaan lahan untuk keperluan pembangunan yang lain. Dahulu dengan sistem perladangan berpindah, pengembalian kesuburan atau produktivitas lahan dapat dilakukan dengan membiarkan lahan tersebut bera dan ditumbuhi oleh semak belukar

selama beberapa tahun, dapat sampai 10 tahun atau lebih, sebelum lahan tersebut dibuka kembali untuk ditanami tanaman pangan lagi. Sekarang praktek tersebut makin sukar untuk dilakukan karena makin tingginya persaingan penggunaan lahan (Kang *et al.*, 1989).

Sebagian besar tanah di daerah hujan tropis didominasi oleh tanah-tanah mineral masam, yaitu Ultisol, Oxisol, dan Inceptisol yang secara alami mempunyai pH rendah dan miskin unsur-unsur hara. Penurunan produktivitas tanah di daerah tropis, meskipun pengelolaannya disertai dengan pemupukan, telah banyak dilaporkan. Santoso *et al.* (1995) melaporkan bahwa penggunaan lahan secara intensif dengan pemberian pupuk N, P, dan K ternyata mengakibatkan penurunan produktivitas lahan karena terjadi ketidakseimbangan hara akibat pengurasan unsur-unsur hara kalsium dan magnesium dari tanah (Tabel 1).

Kegagalan usaha tani pada lahan kering di daerah hujan tropis menunjukkan perlunya pendekatan lain untuk mendukung sistem pertanian yang berkelanjutan. Pemberian mulsa dan pengolahan tanah minimum penting untuk mempertahankan sifat-sifat kimia dan fisik tanah. Kedua teknik tersebut akan lebih bermanfaat bila dikombinasikan dengan pengelolaan bahan organik tanah secara biologis. Tujuan ini dapat dicapai dengan merancang masa bera yang dapat menyediakan mulsa dan pupuk hijau setempat (*in-situ*). Karena sistem perladangan berpindah dengan masa bera yang ditumbuhi semak belukar telah lama dan secara luas dipraktekkan oleh petani di daerah tropis dan subtropis di banyak tempat di dunia, maka penggantian sistem ini dengan sistem lain hampir tidak mungkin. Sistem masa bera dengan semak belukar, selain peranannya untuk mengembalikan tingkat kesuburan tanah dan menekan pertumbuhan gulma, juga mempunyai peranan ganda, yaitu menyediakan banyak manfaat lain termasuk sebagai sumber kayu bakar dan tempat untuk mencari hasil hutan serta berbagai keperluan lain bagi petani. Oleh karena itu perlu dikembangkan sistem yang dapat memperbaiki dan memperpendek atau menghilangkan masa bera, tetapi tetap mempertahankan berbagai manfaat masa bera tersebut bagi petani.

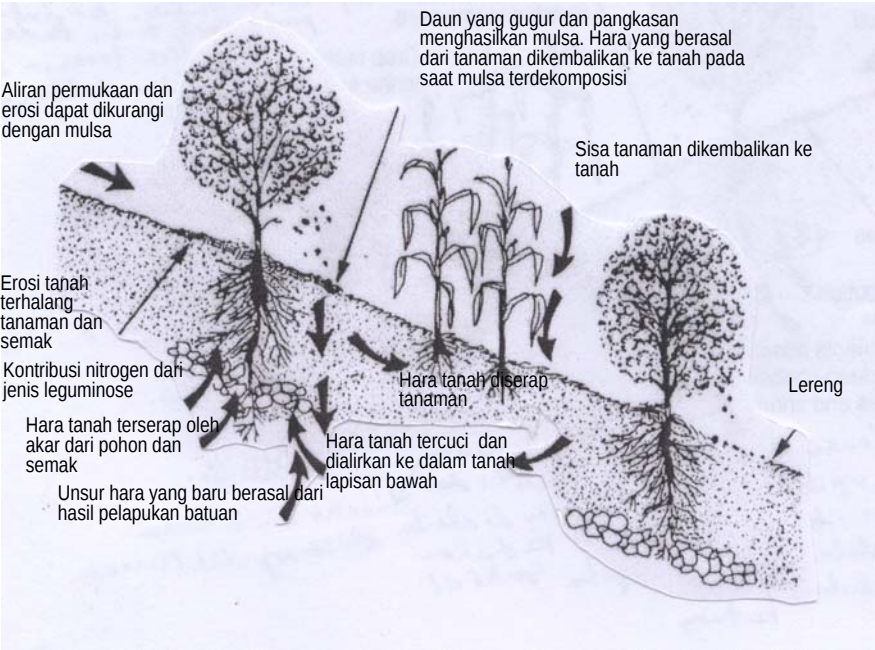
Pemahaman akan pentingnya peranan masa bera ini telah mendorong para peneliti untuk mengembangkan sistem pengelolaan lahan yang baru. Suatu konsep untuk memperbaiki kesuburan tanah yang dinamakan *alley cropping system* muncul di awal tahun 1970-an dari hasil penelitian *International Institute of Tropical Agriculture* (IITA) di Ibadan, Nigeria. Sistem tersebut dirancang untuk dapat menggunakan lahan secara intensif tetapi tetap mempertahankan peranan ganda dari sistem masa bera dengan semak belukar. Penelitian tersebut dilakukan di Nigeria Selatan dengan menggunakan tanaman lamtoro (*Leucaena leucocephala* Lam.) sebagai tanaman pagar (Kang *et al.*, 1981; dan Kang *et al.* 1989).

Tabel 1. Neraca hara dan perubahan status hara pada tanah lapisan atas (0-15 cm) dengan sistem budi daya lorong di Kuamang Kuning, Jambi (1990 – 1994)

Perlakuan	Neraca hara					Perubahan status hara dalam tanah				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
	kg ha ⁻¹					%	mg kg ⁻¹	Cmol(+) kg ⁻¹		
Budi daya lorong, pagar <i>Flemingia</i> sp.										
Tanpa pupuk	-18	-105	-88	-468	-274	-0.01	-3.6	-0.04	-2.02	-0.16
Pupuk sedang	568	165	-32	-63	-30	0.03	39.6	-0.05	-1.23	-0.14
Pupuk tinggi	999	367	199	3173	-23	0.00	80.1	-0.03	5.42	-0.07
Penutup tanah <i>Mucuna</i> sp.										
Tanpa pupuk	-292	-26	-149	-319	-729	-0.01	-2.6	-0.05	-0.61	-0.14
Pupuk sedang	-60	92	-123	-933	-624	0.00	37.0	-0.05	-0.50	-0.12
Pupuk tinggi	918	301	101	2329	-529	0.00	63.4	-0.04	2.34	-0.12
Sisa tanaman ditanamkan										
Tanpa pupuk	-860	-57	-232	-648	-1392	-0.04	-0.4	-0.07	-0.59	-0.15
Pupuk sedang	-232	255	-243	-958	-939	-0.03	32.5	-0.05	-0.84	-0.17
Pupuk tinggi	140	564	18	1338	-1033	-0.03	37.3	-0.05	2.43	-0.18
Sisa tanaman dibakar										
Tanpa pupuk	-6412	-110	-311	-1465	-1758	-0.01	-0.8	-0.04	-0.10	-0.39
Pupuk sedang	-129	315	-195	-582	-850	0.00	40.7	-0.04	-0.27	-0.21
Pupuk tinggi	261	635	31	1807	-819	-0.01	52.0	-0.03	3.68	-0.30

Pupuk sedang: 45 kg N (padi gogo) atau 22,5 kg N (kacang tanah) dan 20 kg P ha⁻¹ MT⁻¹; Pupuk tinggi: 90 kg N (padi gogo) atau 45 kg N (kacang tanah), 40 kg P, dan 25 kg K ha⁻¹ MT⁻¹; Tanda (-) pada neraca hara berarti telah terjadi pengurasan hara atau penurunan status hara selama 4 tahun.
Sumber: Santoso et al. (1995).

Dalam *alley cropping system* ini, yang kemudian di Indonesia disebut sebagai sistem budi daya lorong, tanaman pangan (semusim) sebagai tanaman utama ditanam pada bidang olah di lorong-lorong (*alleys*) antara barisan-barisan tanaman pagar (*hedgerow crops*) dari semak berkayu atau pohon legum, yang secara berkala dipangkas untuk mengurangi naungan dan sebagai sumber bahan organik. Tanaman semak atau pohon yang ditanam sebagai pagar tersebut tetap mempunyai fungsi seperti pada sistem bera dengan semak belukar (*bush-fallow system*), yaitu mendaur ulang unsur hara, sumber mulsa dan pupuk hijau, menekan pertumbuhan gulma dan mengendalikan erosi (Gambar 1). Penggunaan tanaman pagar legum lebih disenangi karena juga dapat menyediakan nitrogen gratis bagi sistem pertanian ini. Oleh karena itu, sistem budi daya lorong dapat juga disebut sebagai sistem bera dengan semak belukar yang diperbaiki, yaitu dengan menggabungkan masa pertanaman dengan masa bera untuk meningkatkan intensitas penggunaan lahan. Terdorong oleh keberhasilan penelitian tersebut, maka kemudian banyak penelitian budi daya lorong lain dilakukan di Afrika. Penelitian *on-farm* juga dilakukan sejak awal tahun 1980-an dan dengan dimasukkannya ternak ruminansia kecil oleh *International Livestock Centre for Africa* (ILCA) dalam sistem budi daya lorong dengan menggunakan pakan ternak dari pangkasan tanaman pagar telah mengawali berkembangnya konsep budi daya lorong (Kang *et al.*, 1989).



Gambar 1. Konsep sistem budi daya lorong (Sumber: Kang *et al.*, 1989)

Di Indonesia, penelitian sistem budi daya lorong mulai banyak dilakukan sejak akhir tahun 1980-an dan hasilnya juga menunjukkan bahwa sistem ini sangat baik untuk mengendalikan erosi dan aliran permukaan (Suwardjo *et al.*, 1988; Adiningsih dan Mulyadi, 1993; Santoso *et al.*, 1994). Misalnya, hanya dalam waktu satu musim hujan, sistem budi daya lorong dengan *Flemingia congesta* [serengan jantan (Indonesia), hahapaan (Sunda)] sebagai tanaman pagar telah menunjukkan keunggulannya, yaitu menghambat erosi dan aliran permukaan menjadi rendah, dibandingkan dengan tiga teknik pengelolaan tanah yang lain, yaitu pengolahan tanah penuh dikombinasikan dengan penanaman tanaman penutup tanah benguk (*Mucuna munaneae*), pengolahan tanah penuh dikombinasikan dengan sisa tanaman ditanam, dan pengolahan tanah minimum dikombinasikan dengan sisa tanaman dibakar (Tabel 2).

Tabel 2. Pengaruh pengolahan tanah, pengelolaan bahan organik dan pemupukan terhadap hasil tanaman, erosi dan aliran permukaan selama 6 bulan (Oktober 1989 – Mei 1990) pada tanah Typic Kandiodox dengan lereng 8-15% di Kuamang Kuning, Jambi

Pengelolaan tanah dan pemupukan			Hasil tanaman		Tanah tererosi	Aliran permukaan
Budi daya lorong dan pengelolaan bahan organik	Pengolahan tanah	Takaran pupuk*	Gabah	Biji kacang tanah		
			t ha ⁻¹		m ³ ha ⁻¹	
Budi daya lorong, sisa panen dimulsakan	Minimum	Tanpa	0,4 b	0,1 f	34,0 bcd	3.875 abc
		Sedang	1,6 a	0,4 cd	1,1 de	1.454 ef
		Tinggi	1,9 a	0,5 bc	0,6 e	1.016 f
Tanpa budi daya lorong, penutup tanah Mucuna, sisa panen dimulsakan	Penuh	Tanpa	0,7 b	0,1 f	10,7 cde	4.609 ab
		Sedang	2,0 a	0,3 cd	4,9 cde	3.210 bcd
		Tinggi	2,4 a	0,5 bc	6,4 cde	2.467 c-f
Tanpa budi daya lorong, sisa panen ditanam	Penuh	Tanpa	0,5 b	0,1 ef	100,0 a	5.083 a
		Sedang	2,0 a	0,4 bc	36,1 bc	4.528 ab
		Tinggi	1,8 a	0,7 a	24,7 de	3.012 b-e
Tanpa budi daya lorong, sisa panen dibakar	Minimum	Tanpa	0,9 b	0,2 ef	52,8 b	5.129 a
		Sedang	1,7 a	0,3 cde	13,5 cde	2.979 b-e
		Tinggi	2,2 a	0,6 ab	13,7 cde	3.050 b-e

* Takaran pupuk: tanpa, sedang, dan tinggi mengikuti keterangan Tabel 1.
Sumber: Hafif *et al.*, 1992.

Flemingia congesta sebagai tanaman pagar mampu menghambat laju aliran permukaan dan menghasilkan pangkasan biomassa banyak (3–9 t ha⁻¹ 6 bulan⁻¹), dapat digunakan sebagai mulsa untuk melindungi tanah dari daya rusak butiran air hujan. Pengaruh tidak langsung dari sistem budi daya lorong adalah mempertahankan kadar bahan organik tanah dan memperbaiki sifat-sifat kimia, fisika, dan biologi tanah (Hafif *et al.*, 1992). Selain menunjukkan peranan budi daya lorong, dengan tanaman pagar *Flemingia congesta*, penelitian ini juga

menunjukkan peranan pemupukan dalam mengendalikan erosi dan aliran permukaan (Tabel 2). Perlakuan tanpa budi daya lorong dengan sisa panen dibakar, dikombinasikan dengan pemberian pupuk takaran sedang dan tinggi berturut-turut menghasilkan tanah tererosi sebesar 13,5 dan 13,7 t ha⁻¹. Pada perlakuan tanpa pupuk menghasilkan tanah tererosi jauh lebih banyak yaitu 52,8 t ha⁻¹. Penelitian tersebut dengan jelas menunjukkan bahwa pemupukan dapat mengurangi erosi dan aliran permukaan, karena tanaman yang dipupuk dapat tumbuh dan menutup permukaan tanah jauh lebih cepat daripada tanaman yang tidak dipupuk. Penutupan permukaan tanah secara rapat dan cepat oleh tajuk tanaman adalah suatu teknik konservasi yang sangat efektif, khususnya dari erosi percikan air hujan. Jadi pemupukan merupakan langkah awal konservasi tanah, yaitu untuk menghasilkan pertumbuhan tanaman yang baik, yang sekaligus juga berperan sebagai penutup tanah yang baik.

Pemberian pupuk yang dikombinasikan dengan sistem budi daya lorong mempunyai pengaruh sinergis dalam mengendalikan erosi dan aliran permukaan serta peningkatan produksi tanaman. Perlakuan budi daya lorong tanpa pupuk menghasilkan gabah dan biji kacang tanah 0,4 dan 0,1 t ha⁻¹ dan tanah tererosi dan aliran permukaan 34,0 t ha⁻¹ dan 3.875 m³ ha⁻¹. Sistem budi daya lorong dengan pemupukan takaran sedang memberikan hasil gabah dan biji kacang tanah lebih tinggi (1,6 dan 0,4 t ha⁻¹) dibandingkan dengan tanpa pupuk. Bersamaan dengan itu, tanah tererosi dan aliran permukaan sangat berkurang dibandingkan dengan yang tidak dipupuk, yaitu menjadi 1,1 t ha⁻¹ dan 1.454 m³ ha⁻¹. Pemberian pupuk takaran tinggi meningkatkan hasil tanaman dan mengurangi erosi dan aliran permukaan.

Penerapan sistem budi daya lorong pada lahan berlereng mampu membentuk teras alami setinggi 20–30 cm dalam waktu 4 tahun (Sutono *et al.*, 1998). Dengan terbentuknya teras, maka panjang lereng berkurang dan kemiringan lahan di masing-masing bidang olah juga berkurang. Teras alami terbentuk karena sedimen yang terbawa oleh aliran permukaan tertahan oleh barisan tanaman pagar. Pembentukan teras dipercepat dengan pengolahan tanah, karena setelah diolah tanah menjadi gembur dan lepas sehingga erosi menjadi lebih tinggi. Selain dapat menekan erosi dan aliran permukaan, budi daya lorong juga menekan kehilangan unsur-unsur hara dari bidang olah. Agus (2000) melaporkan bahwa sistem budi daya lorong dapat menekan kehilangan hara N, P, dan K hingga menjadi seperlimanya. Kehilangan hara dapat ditekan lebih rendah lagi bila diikuti dengan tindakan konservasi tanah yang lain, misalnya pemberian mulsa dan pengolahan tanah minimum.

Meskipun sistem budi daya lorong mempunyai berbagai kelebihan, sistem ini juga memiliki beberapa kelemahan, yaitu luas bidang olah berkurang, perlu tambahan tenaga untuk pemeliharaan dan pemangkasan atau panen tanaman pagar, dan adanya sifat *alelopati* dan jenis tanaman pagar tertentu. Selain itu juga dilaporkan terjadi persaingan antara tanaman pagar dengan tanaman pokok dalam serapan hara, cahaya dan air sering mengurangi dampak positif dari budi daya lorong (van

Noordwijk *et al.*, 1998). Keuntungan budi daya lorong baru dapat dirasakan dalam jangka panjang. Kenyataan ini sering membuat petani kurang tertarik untuk menerapkan sistem ini pada lahan pertaniannya. Petani cenderung untuk mendapat keuntungan berjangka pendek dan kemudahan pengerjaannya di lapangan. Oleh karena itu, pemilihan tanaman pagar perlu mempertimbangkan hal-hal tersebut, agar didapatkan hasil yang optimum. Pemilihan jenis tanaman pagar juga perlu mempertimbangkan peranan ganda tanaman pagar tersebut. Petani di Desa Kubang Ujo, Kabupaten Sarolangun Jambi lebih memilih tanaman pagar rumput raja atau rumput gajah dibandingkan *Flemingia congesta*, karena hasil pangkasan rumput dapat dimanfaatkan untuk pakan ternak dan tetap berperan sangat nyata dalam menekan erosi (Anonymous, 1993; Agus, 2000). Irawan *et al.* (2000) mengemukakan bahwa penelitian dan pengembangan teknologi budi daya lorong sebaiknya dilakukan dengan menggunakan pendekatan partisipatif, yaitu dengan melibatkan petani sejak dari perencanaan, pelaksanaan hingga evaluasi serta diseminasi hasilnya. Pendekatan tersebut penting agar teknologi yang dikembangkan sesuai dengan keinginan dan potensi petani sehingga lebih banyak petani akan mengadopsinya.

Erfandi *et al.* (1988) melaporkan bahwa tanaman pagar *Flemingia congesta* lebih baik dalam memperbaiki sifat fisik tanah, terutama berat isi dan menghasilkan C-organik tanah lebih tinggi dibandingkan dengan lamtoro dan kaliandra (*Caliandra calothyrsus*) (Tabel 3). Hal ini disebabkan pangkasan *Flemingia congesta* lebih banyak, dan dengan semakin kecilnya berat isi berarti tanah menjadi lebih gembur, sehingga pengolahan tanah minimum dapat dianjurkan.

Tabel 3. Pengaruh tanaman pagar dalam sistem budi daya lorong terhadap sifat fisik, kimia, dan hasil kedelai musim tanam 5 di Kuamang Kuning, Jambi

Tanaman pagar	Berat isi	Ruang	Pori	Pori	Air	Bahan		Kedelai	
		pori total	drainase	drainase	terse	organik		Biomassa	Biji
			cepat	lambat	dia	C	N		
	g cm ⁻³		% volume			%		t ha ⁻¹	
<i>L. leucocephala</i>	1,12	56,2	20,4	4,6	12,5	2,63	0,18	1,3	0,6
<i>F. congesta</i>	1,08	59,2	25,6	5,3	14,6	2,85	0,20	1,5	0,7
<i>C. calothyrsus</i>	1,10	57,4	24,1	4,8	13,6	2,73	0,16	1,6	0,8
Tanpa	1,28	51,7	13,7	4,0	11,3	1,31	0,07	0,9	0,4

Sumber: Erfandi *et al.* (1988)

Agro-silvi-pastura merupakan suatu bentuk modifikasi (*variant*) dari sistem budi daya lorong yang memadukan tanaman pangan, tanaman pohon (hutan) sebagai pagar, dan pastura atau padang penggembalaan pada lorongnya (*alley*). Sistem ini dapat dibangun dari pastura alami yang rusak akibat penggembalaan berlebihan (*over grazing*) dengan memperbaiki tata botaninya melalui introduksi

rumput dan legum unggul yang dapat beradaptasi dan memberikan pupuk untuk meningkatkan kesuburan tanah. Hutan pastura terdiri atas komponen pastura yang dikombinasikan dengan komponen tanaman hutan atau kayu-kayuan yang ditanam membentuk pagar. Jika pasturanya luas, maka letak komponen *agro* (pertanian) dan *pastura*-nya dapat diatur berselang-seling di antara tanaman pagar. Fungsi tanaman pohon yang diatur sebagai pagar adalah untuk mengurangi erosi, mengurangi kecepatan dan mematahkan arah angin, penghasil kayu, sumber pakan, serta tempat ternak berlindung dari panas sinar matahari dan tiupan angin yang kencang. Sukristiyonubowo *et al.* (1998) mengemukakan bahwa hutan pastura meningkatkan kadar bahan organik dan P-tanah, keanekaragaman hayati yang mendekati sistem hutan, serta meningkatkan produksi hijauan pakan ternak dan daya dukung ternak sapi (Tabel 4 dan 5). Dalam 5 tahun (1993–1998) sistem hutan pastura meningkatkan kadar C-organik sebesar 2-3 kali lipat. Sistem hutan pastura juga mempengaruhi iklim mikro, di mana selisih suhu udara antara siang dan malam pada hutan pastura relatif lebih kecil dibandingkan pastura tanpa hutan, demikian juga kelembapan udara juga lebih baik (Sukristiyonubowo *et al.*, 2000).

Tabel 4. Pengaruh sistem hutan pastura terhadap sifat kimia tanah di Selengen, Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat (NTB)

Sifat tanah	Sebelum penelitian	Selama penelitian	
	1994	1995/1996	1996/1997
pH-H ₂ O	6,7	6,2	6,4
C-organik (%)	0,62	0,98	1,24
N-Kjedhal (%)	0,06	0,09	0,10
P-HCl 25% (mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹)	127	239	-
P-Olsen (ppm P ₂ O ₅)	10	64	80

Sumber: Sukristiyonubowo *et al.* (1998)

Tabel 5. Pengaruh sistem hutan pastura terhadap hasil hijauan pakan di Selengen, Lombok Barat, NTB

Tata botani pastura	Hasil hijauan					
	MK 1996		MH 1996/97		MH 1996/97	
	HP	THP	HP	THP	HP	THP
	t ha ⁻¹					
Pastura alami	4,9c*	2,2b	11,3c	9,1 c	12,8 b	7,6b
Pastura alami + <i>Paspalum</i> sp.	12,2ab	3,9a	21,1a	15,9 a	16,0 ab	15,0a
Pastura alami + <i>Arachis gambrata</i>	10,6b	3,7a	17,8b	10,0 bc	15,1 ab	8,9b
Pastura alami + <i>Paspalum</i> sp. + A. <i>gambrata</i>	15,1a	4,5a	22,8a	12,4 b	16,2 a	14,5a

* Angka dalam kolom yang sama yang diikuti huruf sama tidak berbeda nyata pada uji LSD 5%.
HP = dengan hutan pagar; THP = tanpa hutan pagar

Sumber: Sukristiyonobowo et al. (1998)

WANATANI

Sistem wanatani (*agroforestry*) adalah sistem penggunaan lahan yang mengintegrasikan tanaman pangan, pepohonan dan atau ternak secara terus-menerus ataupun periodik, yang secara sosial dan ekologis layak dikerjakan oleh petani untuk meningkatkan produktivitas lahan dengan tingkat masukan dan teknologi rendah (Nair, 1989). King (1989) mendefinisikan bahwa wanatani adalah sistem pengelolaan lahan berkelanjutan yang mampu meningkatkan produktivitas lahan secara total, mengkombinasikan tanaman pangan (termasuk tanaman tahunan), tanaman hutan dan atau ternak secara terus-menerus atau periodik pada lahan yang sama, mengaplikasikan tingkat pengelolaan yang bersaing dengan kebudayaan masyarakat di sekitarnya.

Semua definisi wanatani tersebut di atas mengimplikasikan bahwa: (1) terdapat interaksi yang kuat, baik kompetitif maupun komplementer antara komponen pohon-pepohonan dan bukan pepohonan; (2) terdapat perbedaan yang nyata antara masing-masing komponen wanatani dalam dimensi fisik, umur, dan penampilan fisiologi; (3) wanatani umumnya mengintegrasikan dua atau lebih jenis tanaman (atau tanaman dan ternak), di mana paling tidak salah satunya merupakan tanaman berkayu; (4) wanatani selalu mempunyai dua atau lebih hasil; (5) siklus wanatani selalu lebih dari satu tahun; (6) walaupun dalam bentuk sederhana, secara ekologi dan ekonomi wanatani lebih kompleks dibandingkan dengan usaha tani monokultur; dan (7) wanatani dapat diterapkan pada lahan-lahan yang berlereng curam, berbatu-batu, berawa ataupun tanah marginal di mana sistem usaha tani lainnya kurang cocok.

Sistem wanatani pada dasarnya merupakan sistem usaha tani dimana pepohonan merupakan bagian integral dari usaha tani tersebut. Sedangkan tanaman pangan tetap ditanam untuk mendukung kebutuhan keluarga akan pangan. Dengan demikian wanatani merupakan suatu sistem pengelolaan lahan pertanian yang mampu melestarikan sumber daya lahan dan sekaligus memberikan hasil hutan dan pangan bagi petani.

Sistem budi daya lorong seringkali dikelompokkan sebagai salah satu jenis sistem wanatani, tetapi kedua sistem tersebut mempunyai latar belakang pemikiran dan proses pengembangan yang berbeda, serta pengaturan letak tanamannya juga berbeda. Dalam sistem budi daya lorong letak tanamannya teratur, sehingga membentuk lorong-lorong, sedangkan dalam sistem wanatani letak tanamannya tidak teratur dan tidak membentuk lorong. Oleh karena itu, dalam buku ini kedua sistem tersebut dibedakan.

Wanatani telah lama dipraktekkan oleh petani di seluruh dunia dengan menanam berbagai jenis pepohonan dikombinasikan dengan tanaman semusim. Pada sistem ini, hutan dibuka dengan cara tebang-tebas, hasil tebangan dibakar, kemudian ditanam tanaman semusim. Tanaman pohon ditanam bersamaan dengan penanaman tanaman semusim, atau setelah tanaman semusim tumbuh ataupun sesudah tanaman semusim dipanen. Pada daerah beriklim tropis di Amerika, petani menerapkan sistem usaha tani pada luasan sempit yang menyerupai kondisi hutan untuk memperoleh keuntungan yang dapat disumbangkan oleh sistem hutan. Pada lahan tersebut ditanam berbagai jenis tanaman berupa pohon hutan, kelapa atau pepaya dikombinasikan dengan tanaman perdu berupa kopi atau coklat serta tanaman pangan berupa jagung dan akhirnya disebarkan benih rumput untuk menutupi permukaan tanah.

Di Asia, terutama di Filipina, petani juga sudah menerapkan sistem wanatani. Hutan dibuka secara selektif di mana beberapa jenis pohon hutan tetap dipelihara untuk memperoleh manfaat, antara lain kayu bahan bangunan, bahan obat-obatan atau kosmetik; sedangkan di sela-sela pepohonan ditanam tanaman pangan untuk memenuhi kebutuhan keluarga. Di Nigeria, beberapa tanaman pangan seperti jagung, bayam dan kacang-kacangan ditanam secara bersamaan di bawah populasi pepohonan hutan. Selain itu, campuran tanaman rumput-rumputan dengan semak dan pepohonan telah lama diterapkan secara intensif untuk mengurangi erosi, aliran permukaan dan memelihara kesuburan tanah. Ada empat pertimbangan yang mendorong perkembangan wanatani, yaitu: (1) wanatani tidak mengganggu hutan, terutama fungsi hutan dalam memelihara kelestarian sumberdaya lahan; (2) ancaman kerusakan hutan biasanya lebih ditentukan oleh perilaku petani; (3) sudah dirasakan oleh petani bahwa akan lebih menguntungkan jika hutan alami dirubah menjadi sistem wanatani; dan (4) telah didemonstrasikan bahwa sistem hutan alami memerlukan biaya tinggi yang disebabkan oleh lamanya periode pemeliharaan (King, 1989).

Pada saat ini dikenal enam jenis wanatani, yaitu: tanaman sela, talun, kebun campuran, pekarangan, tanaman pelindung, dan pagar hidup.

Tanaman sela

Dilihat dari perkembangan tajuk tanaman tahunan, terdapat dua model pertanaman sela, yaitu: pertanaman sela terus-menerus dan pertanaman sela periodik. Pertanaman sela terus-menerus adalah penanaman tanaman pangan semusim atau menahun, palawija, atau rumput pakan di antara tanaman tahunan yang sudah menghasilkan. Pada sistem ini, tajuk tanaman tahunan tidak rapat, sehingga memungkinkan untuk membudi dayakan tanaman lainnya yang memiliki tajuk lebih rendah dari tanaman tahunan. Pengaturan tanaman dilakukan sedemikian rupa, sehingga interaksi antar tanaman tidak saling merugikan.

Penanaman coklat, pisang, ubi kayu, padi gogo, nanas, atau jagung di antara barisan kelapa adalah salah satu contoh pertanaman sela terus-menerus.

Tanaman sela sementara adalah penanaman tanaman pangan semusim, palawija atau rumput pakan di antara tanaman tahunan yang tajuknya belum menutupi seluruh permukaan tanah. Jika tajuk tanaman tahunan sudah menutupi seluruh permukaan tanah, maka tanaman semusim tidak dapat dibudi dayakan lagi. Penanaman jagung, padi gogo, kacang tanah, dan sayuran dataran rendah di antara barisan tanaman kelapa sawit muda atau karet merupakan contoh tanaman sela sementara.

Teknik tanaman sela berkembang pesat di daerah perkebunan dengan tujuan untuk memberikan penghasilan yang cepat kepada petani selama menunggu tanaman perkebunan menghasilkan atau pendapatan tambahan pada tanaman tahunan yang tajuknya tidak menutupi seluruh permukaan tanah. Beberapa keuntungan dari pertanaman sela adalah: memberikan pendapatan dalam waktu singkat kepada petani pengelola kebun; mencegah pertumbuhan gulma yang dapat merugikan tanaman tahunan; dan meringankan pemeliharaan tanaman tahunan karena pemberian pupuk dan pengendalian hama/penyakit tanaman sela meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi gangguan hama/penyakit bagi tanaman tahunan. Kekurangan dari sistem tanaman sela adalah: tanaman semusim atau tahunan bertajuk rendah dapat menjadi inang hama/penyakit yang menyerang tanaman tahunan; tanaman sela dengan tanaman semusim hanya cocok diterapkan pada lahan dengan lereng <30%, karena pada lereng yang lebih curam akan mempercepat erosi; dan memerlukan banyak tenaga dan biaya.

Talun

Talun adalah lahan di luar areal permukiman yang ditumbuhi oleh tanaman hutan dan tanaman tahunan lainnya. Karena komponen tanamannya tumbuh sendiri, maka proporsi dan jarak tanamnya tidak teratur. Dalam kenyataannya, sistem ini lebih menyerupai hutan sekunder yang tumbuh setelah hutan primer dibuka, ditanami tanaman pangan dan setelah beberapa tahun ditinggalkan karena produktivitas lahannya rendah. Oleh karena itu, talun berasosiasi erat dengan peladangan berpindah di daerah Sumatera dan Kalimantan yang pada umumnya menumbuhkan hutan karet rakyat.

Kebun campuran

Kebun campuran mirip dengan talun, tetapi komponen tanaman hutan dan tanaman tahunan lainnya sengaja ditanam. Jenis tanaman tahunan yang sengaja

ditanam antara lain petai, jengkol, aren, melinjo, sengon, dan buah-buahan. Kadang-kadang sebagian lahan ditanami dengan tanaman pangan semusim. Tetapi komponen tanaman tahunan dalam sistem kebun campuran lebih dominan dibandingkan dengan tanaman semusim. Di Filipina, India, dan Kenya dikenal dengan istilah *taungya*, yang berarti sehamparan lahan di daerah pegunungan. Jika proporsi tanaman semusim lebih luas daripada tanaman tahunan, maka sistem ini disebut tegalan.

Pekarangan

Pekarangan adalah penanaman tanaman tahunan dan tanaman pangan semusim atau menahun serta sering dikombinasikan dengan pemeliharaan ternak terutama jenis ruminansia dan unggas di sekitar rumah. Sistem ini berkembang baik di daerah transmigrasi, dimana untuk setiap rumah tangga disediakan lahan pekarangan sekitar 0,25 ha untuk ditanami tanaman tahunan, tanaman pangan, tanaman obat-obatan, dan sering diiringi dengan pembuatan kandang ternak ruminansia dan unggas.

Tanaman pelindung

Tanaman pelindung adalah tanaman tahunan bertajuk tinggi yang sengaja ditanam dengan tujuan untuk melindungi tanaman semusim atau tanaman perkebunan bertajuk rendah (berupa perdu) dari kelebihan intensitas sinar matahari dan pengaruh buruk dari angin dingin. Untuk mengurangi persaingan unsur hara dengan tanaman yang dilindungi, proporsi tanaman pelindung lebih sedikit daripada tanaman yang dilindungi dan dipilih tanaman jenis leguminosa berkayu. Tanaman dadap yang ditanam di sela-sela barisan tanaman kopi merupakan salah satu contoh tanaman pelindung. Persyaratan tanaman pelindung adalah:

- * Memiliki tajuk tinggi,
- * Memiliki perakaran yang dalam, sehingga dapat mendaur ulang unsur hara dari lapisan tanah yang dalam, dan mengurangi persaingan dengan tanaman pokok,
- * Termasuk jenis legum berkayu, sehingga dapat memfiksasi nitrogen dari udara untuk tanaman pokok,
- * Tidak mudah rebah atau patah, sehingga tanaman pokok tidak mengalami kerusakan, dan

- * Mampu mengurangi kerusakan tanaman pokok dari pengaruh jelek angin terutama di daerah beriklim kering dan kena pengaruh angin dingin dari Benua Australia.

Pagar hidup

Pagar hidup adalah barisan tanaman tahunan jenis perdu atau pohon sepanjang batas pemilikan lahan yang ditanam dengan jarak tanam rapat, dipangkas pada ketinggian 1,5 - 2 m. Selain sebagai batas pemilikan lahan, pagar hidup dapat berfungsi sebagai pencegah orang, ternak pemakan rumput/tanaman masuk ke lahan dan merusak tanaman, sumber pakan ternak serta menahan erosi. Persyaratan yang diperlukan untuk tanaman pagar hidup adalah:

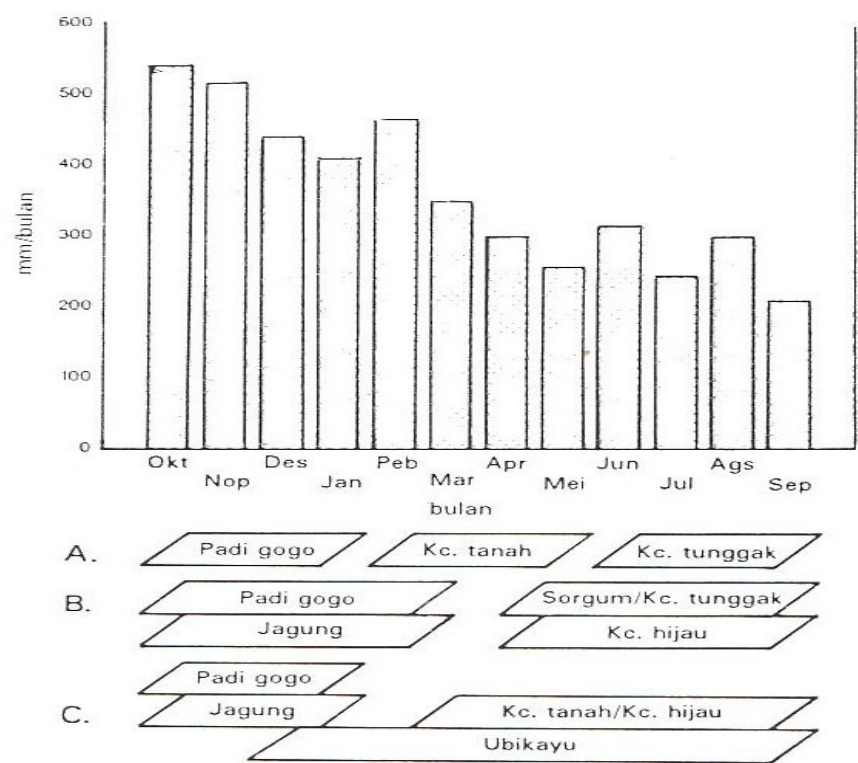
- berperakaran dalam, sehingga dapat mendaur ulang unsur hara dari lapisan tanah yang dalam, mengurangi persaingan dengan tanaman pokok, dan mampu mencegah erosi,
- tahan dipangkas secara periodik,
- menghasilkan banyak bahan hijauan segar untuk pakan ternak atau menghasilkan banyak bahan kayu bakar,
- bukan sebagai inang hama/penyakit bagi tanaman pokok,
- untuk daerah beriklim kering seperti di Nusa Tenggara, dipilih tanaman yang tahan kering, sehingga tidak mati selama kemarau panjang, dan
- diusahakan dari jenis legum perdu karena kualitas pakan ternak akan lebih baik dan dapat memfiksasi nitrogen dari udara untuk tanaman pokok.

POLA TANAM

Pola tanam adalah sistem pengaturan pertanaman berdasarkan distribusi curah hujan, baik pola tanam monokultur maupun tumpang sari pada tanaman hampir sama umur pada sebidang tanah sebagai salah satu strategi untuk menjamin keberhasilan usaha tani lahan kering. Dalam pengembangannya pola tanam ini sangat tergantung kepada jenis tanah, iklim, topografi, dan pemasaran hasil. Lahan dengan kemiringan < 8% dapat mendukung usaha tanaman pangan sebagai tanaman utama. Adapun kemiringan >8%, pertanaman diusahakan searah kontur atau teras dan tanaman pangan tidak lagi berfungsi sebagai tanaman utama, melainkan sudah beralih ke tanaman tahunan seperti karet, kelapa sawit dan tanaman tahunan lainnya (Effendi, 1984).

Dengan meningkatkan intensitas tanaman, maka bukan hanya produktivitas lahan yang ditingkatkan, tetapi sekaligus juga merupakan tindakan konservasi vegetatif. Tertutupnya lahan hampir sepanjang tahun akan mengurangi erosi serta menghasilkan sisa tanaman sebagai bahan organik. Sisa tanaman jika dimulsakan atau dibenamkan dapat mensuplai unsur hara, menutup tanah sehingga terhindar dari kerusakan tanah akibat hujan, mempertinggi stabilitas agregrat dan kapasitas tanah menahan air. Menurut Sanders (1991), sistem usaha tani berkelanjutan merupakan suatu usaha pengelolaan lahan-tanaman yang dapat meningkatkan produksi tanaman per satuan luas dan waktu, melindungi tanah dari kerusakan air dan angin, meningkatkan kesuburan tanah dan bahan organik, memaksimumkan resapan air serta layak secara ekonomis.

Pola tanam harus disesuaikan dengan persyaratan tumbuh tanaman dan ketersediaan air atau distribusi curah hujan di daerah setempat (Gambar 2). Hal ini untuk menghindari tanaman dari kekeringan dan banjir serta gangguan hama dan penyakit. Pemilihan kombinasi tanaman harus tepat, dapat memanfaatkan ruang dan waktu seefisien mungkin, serta dapat menekan pengaruh kompetisi sekecil mungkin.



Gambar 2. Diagram pola tanam tanaman semusim berdasarkan distribusi curah hujan di Kubang Ujo, Jambi (Sumber: Tuherkih, 1996).

Beberapa sistem pola tanam yang dapat dikembangkan pada lahan kering yang sekaligus merupakan tindakan konservasi vegetatif adalah:

Pertanaman campuran (*mixed cropping*)

Pertanaman campuran adalah sistem penanaman lebih dari satu macam tanaman semusim pada lahan dan waktu yang sama dengan pola tidak teratur. Jenis tanaman yang diusahakan biasanya terdiri atas tanaman semusim seperti padi gogo, palawija atau sayuran. Kadang-kadang lahan ditanami dengan tanaman tahunan seperti jati, sonokeling, dan mahoni sebagai pembatas pemilikan lahan. Tetapi berbeda dengan kebun campuran, komponen tanaman semusim dalam sistem pertanaman campuran lebih dominan. Tujuannya untuk konsumsi pangan, pakan, kayu bangunan rumah, dan kayu bakar.

Pertanaman berurutan (*sequential cropping*)

Pertanaman berurutan adalah sistem penanaman dengan dua tanaman atau lebih secara berurutan/bergilir. Pola tanam dapat berupa padi gogo – kacang tanah - kacang tunggak atau jagung – kacang tanah – tanaman penutup tanah atau tanaman pupuk hijau. Tanaman pertama biasanya ditanam pada awal musim hujan dan setelah panen tanah diolah lagi kemudian ditanam tanaman kedua. Tanaman ketiga ditanam tergantung dari ketersediaan air, kalau tidak memungkinkan biasanya tanah dibiarkan sampai musim hujan berikutnya.

Benguk dan kacang tunggak (*Vigna sinensis*) dapat ditanam pada musim tanam ketiga dalam pola pergiliran tanaman lahan kering untuk mencegah merosotnya produktivitas tanah. Selama empat bulan (Mei-Agustus) benguk dan kacang tunggak mampu menghasilkan biomassa sebesar 8 dan 5 t ha⁻¹ (Purnomo et al., 1992). Tanaman penutup tanah kacang-kacangan pada musim kemarau berpengaruh meningkatkan hasil kedelai dan jagung yang ditanam sesudahnya (Tabel 6).

Tabel 6. Pengaruh berbagai tanaman penutup tanah terhadap hasil biomassa tanaman penutup tanah, kedelai dan jagung dan hasil biji kedelai di Kuamang Kuning, Jambi

Tanaman penutup tanah	Hasil		
	Musim kering	Musim hujan	
	Biomassa	Biomassa kering	Biji kedelai

	kering tanaman penutup	Kedelai	Jagung	
		t ha ⁻¹		
Benguk (<i>Mucuna munaneae</i>)	7,95	1,92	1,43	6,47
Komak (<i>Dolichos lab-lab</i>)	0,51	0,63	0,44	2,68
Kacang tunggak (<i>Vigna sinensis</i>)	5,02	0,86	0,44	2,91
Kacang hijau (<i>Phaseolus radiatus</i>)	0,38	0,67	0,22	2,71

Sumber: Purnomo et al. (1992)

Pertanaman tumpang sari (*inter cropping*)

Pertanaman tumpang sari adalah sistem penanaman lebih dari satu macam tanaman pada lahan yang sama secara simultan, dengan umur tanaman relatif sama dan diatur dalam barisan atau kumpulan baris secara berselang-seling seperti: padi gogo + jagung – jagung + kacang tanah. Pertanaman pertama padi ditanam tumpang sari dengan jagung, pertanaman kedua jagung ditumpang-sarikan dengan kacang tanah.

Pertanaman tumpang sari telah berhasil dikembangkan di Jawa pada areal hutan jati, pinus, dan rasamala (Arsyad, 2000). Petani dengan izin pihak Perhutani menanam tanaman semusim seperti padi gogo, jagung dan sebagainya secara tumpang sari yang merupakan tanaman sela di antara tanaman pokok (hutan) selama 2-3 tahun atau kanopi belum saling menutup dengan kewajiban memelihara tanaman pokok. Keuntungan dari pola tumpang sari di bawah tegakan pohon, adalah: bahaya kerusakan hutan dapat diatasi, petani mendapat kesempatan pada areal usaha tani terbatas, pemeliharaan tanaman hutan secara tidak langsung telah dilakukan, antara lain dengan penyiangan dan pemupukan tanaman pangan.

Pertanaman tumpang gilir (*relay cropping*)

Pertanaman tumpang gilir adalah penanaman lebih dari satu macam tanaman pada lahan yang sama secara bergilir. Tanaman kedua ditanam di antara tanaman pertama sebelum panen. Pola tanam dapat berupa padi gogo + jagung -/- ubi kayu – kacang tanah. Pertanaman pertama padi gogo ditumpangsarikan dengan jagung. Sebulan sebelum jagung dipanen, ubi kayu ditanam dengan cara disisipkan di antara jagung. Setelah padi dan jagung di panen, kacang tanah ditanam di antara barisan ubi kayu.

Hasil penelitian selama 5 tahun di Lampung dan Sumatera Selatan menunjukkan bahwa sistem ini dapat memberikan keuntungan bersih sebesar

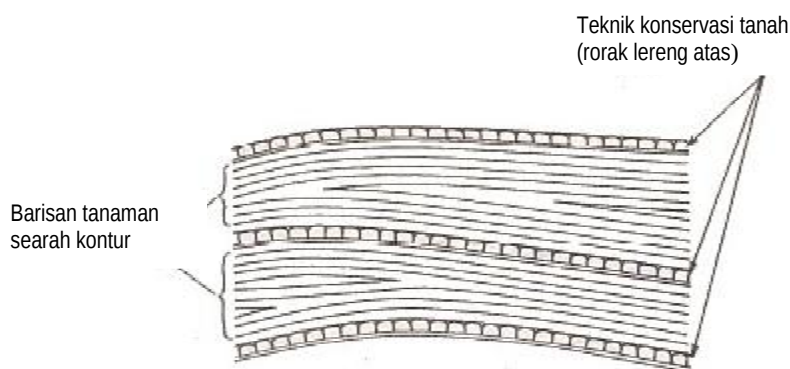
dua kali (setara gabah 15,9 t ha⁻¹ tahun⁻¹) dibandingkan dengan pola petani. Tingkat produktivitas lahan dipertahankan dari musim ke musim, melalui pengembalian sisa tanaman ke dalam tanah, pemilihan jenis dan varietas tanaman yang cocok serta waktu tanam yang tepat (Syam et al., 1996).

Pertanaman berlajur (*strip cropping*)

Pertanaman berlajur adalah penanaman dua jenis tanaman atau lebih dalam strip-strip secara berselang-seling antara tanaman pokok dan tanaman penutup tanah. Sistem ini diterapkan pada lahan berlereng 15-40%. Terdapat tiga tipe pertanaman strip (Arsyad, 2000), yaitu:

- (4) pertanaman sejajar kontur (*contour planting*) dimana pembajakan, penggaruan, pembuatan guludan dan penanaman tanaman utama sepanjang atau sejajar kontur pada suatu lahan berlereng. Tujuan dari teknik ini adalah untuk meningkatkan resapan air, mengendalikan erosi, dan aliran permukaan,
- (5) strip lapangan yang disusun memotong atau melintang arah lereng umum pada daerah bertopografi tidak seragam dan digunakan saluran-saluran bertanaman penutup (*grassed waterway*), dan
- (6) strip berpenyangga (*buffer strip cropping*) terdiri atas strip rumput atau legum yang dibuat di antara strip tanaman pokok menurut kontur.

Masing-masing tipe tanaman strip yang digunakan tergantung dari sistem pertanaman, topografi dan tingkat kerusakan karena erosi. Jika ada rorak di lereng atas (*hillside ditches*) atau dinding batu (*stone wall*), maka bangunan tersebut dijadikan panduan dalam membajak dan menggaru atau kegiatan-kegiatan pengelolaan tanah lainnya (Gambar 3). Umumnya barisan yang panjang yang mengikuti arah rorak atau dinding batu tersebut jumlahnya cukup antara 4–6 buah saja. Barisan-barisan yang pendek sebaiknya diletakkan di tengah-tengah antara dua baris rorak. Perbaikan-perbaikan guludan, rorak atau dinding batu harus segera dilakukan sebelum datang hujan yang lebat (FFTC, 1995).



Gambar 3. Pertanaman berlajur (Sumber: FFTC, 1995)

Sistem pertanaman berlajur mirip dengan sistem SALT (*sloping agricultural land technology*) dan sudah berhasil dikembangkan di Filipina, dimana strip-strip dibuat dengan jarak antara 4-6 m ditanami berselang-seling antara tanaman hutan/perkebunan/hortikultura, tanaman pangan dan legum/rumput pakan (Watson dan Laquihon, 1993). Dengan sistem SALT ini sebagian luasan tanah akan tertutup oleh residu tanaman legum, sehingga dapat mengurangi aliran permukaan.

Pertanaman bertingkat (*multistorey cropping*)

Pertanaman bertingkat adalah sistem penanaman kombinasi antara pohon dan tanaman lain yang lebih pendek habitusnya. Penanaman berbagai tanaman pohon yang berbeda tinggi tajuknya diatur dengan arah barisan timur-barat, dan tanaman pangan atau pakan diantaranya. Misalnya, etase 1 kelapa, etase 2 cengkih, durian, melinjo, etase 3 pisang, jeruk, kopi, dan etase 4 tanaman pangan dan pakan. Pada prinsipnya sistem ini adalah untuk meningkatkan produktivitas lahan dengan mengurangi luas lahan yang diolah dan memperbanyak tanaman. Pengelolaannya perlu memperhatikan pengawetan tanah dan air, intensitas sinar surya semaksimal mungkin, serta daur ulang bahan organik dan hara (Widjaja-Adhi *et al.*, 1993).

Jenis tanaman yang akan ditanam perlu dipilih dengan mempertimbangkan bentuk tajuk, tinggi tanaman, sistem perakaran, adanya *alelopati* dan tempat (inang) hama/penyakit tanaman lain. Ada tanaman yang diusahakan secara tumpang sari dapat menimbulkan peracunan (*alelopati*), misalnya terjadi pada tanaman lada (*Piper nigrum*) dan gamal (*Gliricidaeae sepium*) (Panbiru, 1979 dalam Sujitno *et al.*, 1997). Sistem ini hampir mirip dengan wanatani namun yang membedakannya adalah tanaman utamanya, yaitu pada tanaman bertingkat basisnya tanaman perkebunan dan buah-buahan, sedangkan wanatani berbasis tanaman hutan.

TANAMAN PENUTUP TANAH

Tanaman penutup tanah adalah tanaman yang ditanam untuk menutupi permukaan lahan pertanian yang berguna mengendalikan erosi dan memperbaiki sifat-sifat tanah. Tujuan dari penanaman penutup tanah adalah: (1) melindungi permukaan tanah dari erosi percikan (*splash erosion*) akibat jatuhnya tetesan air hujan; (2) meningkatkan kandungan bahan organik tanah dan memperbaiki sifat-sifat fisik dan kimia tanah; (3) menekan pertumbuhan gulma sehingga dapat mengurangi biaya perawatan tanaman; dan (4) meminimumkan perubahan-

perubahan iklim mikro dan suhu tanah, sehingga dapat menyediakan lingkungan hidup yang lebih baik bagi tanaman.

Tanaman penutup tanah harus memenuhi persyaratan, antara lain: mudah diperbanyak terutama dengan biji, tumbuh cepat dan menghasilkan banyak daun, toleran terhadap pemangkasan dan injakan, bukan tanaman inang hama dan penyakit, sistem perakaran tidak berkompetisi berat dengan tanaman pokok, dan mampu menekan gulma. Jenis tanaman penutup tanah yang umum digunakan adalah rumput dan kacang-kacangan/leguminosa. Tanaman penutup tanah kacang-kacangan (*legume cover crop* = LCC) yang merambat paling baik sebagai penutup tanah, karena mampu secara langsung memfiksasi nitrogen dari udara, dan mampu beregenerasi sendiri.

Pada umumnya penutup tanah kacang-kacangan ditanam pada perkebunan buah-buahan, karet, kelapa atau kelapa sawit. Penggunaan LCC untuk kebun tanaman buah-buahan yang masih muda sangat dianjurkan, karena selain untuk tujuan konservasi tanah dan air, dapat juga untuk meningkatkan produktivitas tanah. Teknik ini sebaiknya dikombinasikan dengan teknik-teknik konservasi tanah yang lain. Selain sebagai tanaman penutup tanah, spesies rumput tertentu dapat berfungsi juga sebagai pakan ternak. Untuk mengurangi kehilangan air tanah, pemangkasan rumput dilakukan sebelum awal musim kemarau.

Pemilihan tanaman kacang-kacangan sebagai tanaman penyisip untuk penutup tanah perlu dilakukan dengan hati-hati agar tidak terjadi persaingan hara dan *alelopati*. Penyisipan tanaman kacang-kacangan penutup tanah komak (*Dolichos lab-lab*) efektif menekan erosi hingga 40%, tetapi cenderung menurunkan hasil ubi jalar sebesar 3% (Suprayogo et al., 1997).

Meluasnya lahan alang-alang (*Imperata cylindrica*) dapat ditekan dengan menggunakan tanaman penutup tanah. Adiningsih dan Mulyadi (1993) menggunakan benguk sebagai penutup tanah untuk menekan meluasnya lahan alang-alang dan untuk merehabilitasi lahan pangan pada 14 PIR Perkebunan, sedangkan pada perladangan berpindah, benguk digunakan sebagai tanaman penutup oleh Irianto et al. (1993). Benguk tergolong jenis legum merambat dan dapat tumbuh cepat. Rehabilitasi lahan alang-alang dengan benguk yang disertai dengan pemupukan P meningkatkan hasil biomassa benguk, memperbaiki sifat kimia tanah, dan menekan pertumbuhan alang-alang. Pemberian pupuk P, yaitu 400 kg TSP + 1 t kapur; 1 t fosfat alam Maroko dan North Carolina dapat meningkatkan hasil biomassa benguk. Selain sebagai tanaman rehabilitasi, biomassa benguk mampu menyumbang hara sebesar 23,2 kg N; 2,0 kg P; 19,7 kg K dalam setiap ton bahan kering (Tabel 7 dan Gambar 4).

Irianto et al. (1993) dan Sudharto et al. (1993) mengemukakan bahwa benguk dapat menggemburkan tanah, meningkatkan produktivitas tanah,

meningkatkan hasil tanaman, dan menekan pertumbuhan alang-alang. Menurut Sudharto *et al.* (1993), cara pengelolaan lahan alang-alang terbaik adalah dengan membat alang-alang, membongkar, diikuti dengan penanaman benguk dengan jarak tanam 30 cm x 20 cm (Tabel 8). Erfandi *et al.* (2001) mengemukakan bahwa penanaman benguk selama 3 bulan meningkatkan pori aerasi, pori air tersedia, indeks stabilitas agregat dan menurunkan kepadatan tanah Ultisol di Jambi. Tala'ohu *et al.* (2001) melaporkan bahwa benguk dapat menggemburkan tanah, memelihara kelembapan tanah, mempertahankan kadar bahan organik, dan mengembalikan sebagian unsur hara ke dalam tanah. Kemampuan benguk untuk menekan pertumbuhan alang-alang tergantung cara pengelolaan lahan alang-alang.

Tabel 7. Pengaruh rehabilitasi lahan dengan benguk dan pupuk fosfat terhadap sifat kimia tanah, biomassa dan kadar hara benguk di Terbanggi, Lampung

Pemupukan P	pH –H ₂ O	C-org	P- HCl 25%	P-Bray I	Kation tukar		Kejenuhan	Biomassa	Kandungan hara dalam tanaman benguk				
					Ca	Al			Al	benguk	N	P	K
		%	mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹	ppm P	me 100 g ⁻¹		%	t ha ⁻¹	% —————				
Sebelum rehabilitasi													
Tanpa P	5,30	1,70	6,0	4,10	2,06	0,48	15						
Tiga tahun setelah rehabilitasi													
Tanpa P	4,36	1,50	5,33	8,74	1,57	0,98	27	6,8	2,16	0,12	1,82	0,76	0,18
TSP + kapur	4,52	1,67	8,22	11,23	1,77	0,96	24	14,9	2,25	0,21	2,20	0,80	0,22
PA-North Carolina	4,56	1,50	13,44	24,53	2,04	0,81	22	12,4	2,55	0,25	1,74	0,80	0,28
PA-Maroko	4,72	1,75	12,11	20,31	2,16	0,78	20	13,6	2,35	0,21	2,13	0,84	0,21

Sumber: Adiningsih dan Mulyadi, 1993



Gambar 4. Benguk (*Mucuna munaneae*) ditanam sebagai tanaman penutup tanah sekaligus dapat digunakan untuk rehabilitasi lahan alang-alang (photo: I G. P. Wigena).

Sudharto *et al.* (1993) mengemukakan bahwa penutupan tanah dengan legum dapat memperbaiki media tumbuh mikroba dalam tanah, misalnya *Azotobacter* dan jamur di Kuamang Kuning, Jambi. Pada lahan alang-alang populasi *Azotobacter* sekitar 50×10^3 , sedangkan populasi *Azotobacter* pada lahan yang ditanami *Calopogonium mucunoides*, tanaman pangan, dan benguk meningkat menjadi 2, 3, dan 4 kali. Populasi jamur pada lahan alang-alang sebesar 20×10^3 , dan populasi jamur pada lahan yang ditanami *Calopogonium mucunoides*, tanaman pangan dan benguk meningkat menjadi 1,5; 1,5 dan 2 kali.

Tabel 8. Pengaruh cara pengelolaan lahan alang-alang terhadap hasil biomassa benguk dan alang-alang di Kuamang Kuning, Jambi

Cara pengelolaan lahan alang-alang	Benguk		Alang-alang	
	t ha ⁻¹	%	t ha ⁻¹	%
Tanpa benguk	-	-	20,0	100
Alang-alang dibabat, dibongkar akarnya, ditanam benguk 20 cm x 30 cm	15,6	84	3,0	16
Alang-alang dibabat, dibongkar akarnya, ditanam benguk 25 cm x 50 cm	12,6	75	4,2	25
Alang-alang dibabat, dibongkar akarnya, ditanam benguk 50 cm x 50 cm	11,0	63	6,4	37
Alang-alang dibabat, ditanam benguk 20 cm x 30 cm	11,6	82	2,4	17
Alang-alang dibabat, ditanam benguk 25 cm x 50 cm	10,7	76	3,3	23
Alang-alang dibabat, ditanam benguk 50 cm x 50 cm	10,0	70	4,2	29

Sumber: Sudartha et al. (1993)

Rehabilitasi lahan dengan tanaman penutup tanah pada perladangan berpindah dan lahan alang-alang diharapkan dapat menekan meluasnya kedua jenis lahan tersebut. Pada tahun 1993 luas lahan alang-alang sekitar 37 juta ha dengan percepatan 2,5% tahun⁻¹, sedangkan luas perladangan berpindah pada tahun yang sama sekitar 9 juta ha.

PENANAMAN RUMPUT

Penanaman rumput pada berbagai tempat yang terbuka (tidak tertutup oleh tanaman utama) sangat penting dalam membantu mengendalikan erosi dan aliran air permukaan di lahan pertanian. Tempat-tempat yang terbuka tersebut antara lain adalah saluran pembuangan air (SPA), rorak, jalan dan bidang lereng dari lahan pertanian. Penanaman rumput pada SPA atau dinamakan sebagai SPA yang diperkuat dengan rumput (*grassed waterways*) penting untuk mengamankan SPA, sehingga lahan pertanian dapat lebih stabil. Teknik ini baik untuk lahan yang lerengnya <30%. Jika air buangnya mengalir terus dan kecepatannya melebihi 1,5 m detik⁻¹, maka dasar salurannya perlu diperkuat dengan semen. Untuk mengurangi kekuatan aliran air, maka SPA yang diperkuat dengan rumput tersebut di beberapa tempat dengan jarak yang teratur perlu ditambah dengan terjunan air (*drop spillways*). Rumput yang sesuai untuk teknik ini adalah Bahua grass (*Paspalum notatum*) atau rumput karpet (*Axonopus affinis*). Tempat-tempat yang terus-menerus ternaungi atau tanahnya terlalu berbatu tidak cocok untuk teknik SPA dengan rumput ini (FFTC, 1995).

Penguatan lereng dengan menanam rumput merupakan teknik untuk melindungi dan menstabilkan lereng (*vegetative sideslope stabilization*) dari suatu lahan pertanian. Penanaman rumput ini juga mengurangi biaya pemeliharaan lereng dan menambah keindahan dari bentang alam. Jenis rumput yang ditanam sebaiknya yang dapat tumbuh rapat dan berakar dalam. Kalau keadaannya memungkinkan dapat ditanam tanaman yang berbunga. Pada waktu penanaman rumput tersebut perlu dipupuk karena tanahnya berasal dari lapisan bawah yang umumnya miskin unsur-unsur hara (FFTC, 1995).

PUPUK HIJAU

Pupuk hijau dapat ditanam secara khusus untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dan berguna sebagai pupuk. Kandungan nitrogen pupuk hijau tertinggi pada masa awal pembentukan bunga, waktu tanaman masih lunak dan mudah dilapuk. Oleh karena itu, tanaman pupuk hijau sebaiknya dipangkas pada waktu itu dan segera ditanam ke dalam tanah waktu masih berwarna hijau.

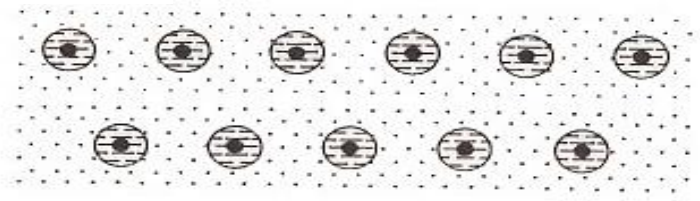
Tanaman pupuk hijau dapat meningkatkan kandungan bahan organik tanah, memperbaiki sifat-sifat fisik dan kimia tanah serta meningkatkan ketahanan tanah terhadap erosi. Tanaman pupuk hijau dapat dipakai untuk memperbaiki tanah berpasir, tanah liat berat atau tanah-tanah lain yang tidak produktif. Pupuk hijau juga dapat ditanam di antara barisan tanaman yang sudah ada atau ditanam pada lahan yang bera sebelum ditanami tanaman utama.

Tanaman pupuk hijau yang mudah menghasilkan biji akan lebih menarik karena petani dapat secara mudah dan langsung mengumpulkan bijinya. Tanaman pupuk hijau yang baik untuk lahan-lahan yang berlereng antara lain adalah turi (*Sesbania grandiflora*), *Desmodium rensonii*, *Flemingia congesta*, *Stylosanthes guyanensis*, *Arachis pintoi*, gamal (*Gliricidaeae sepium*). Jarak tanam tanaman pupuk hijau diatur disesuaikan dengan jarak tanam tanaman utama. Penanaman sebaiknya dilakukan pada awal musim hujan atau waktu air tanah masih cukup.

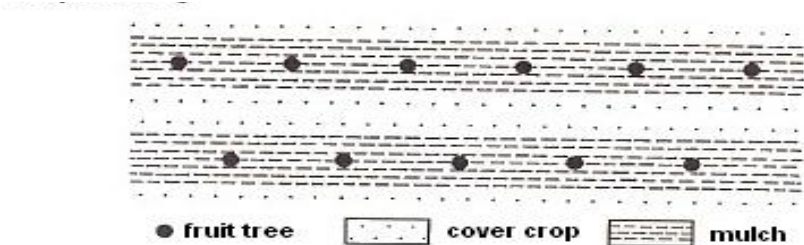
MULSA

Mulsa adalah penutup tanah yang berasal dari pangkasan rumput, sisa panen atau bahan-bahan lain yang penggunaannya disebarakan di permukaan tanah sepanjang barisan tanaman atau melingkari batang pohon (Gambar 5) Mulsa berguna untuk: (1) mengurangi erosi dan aliran permukaan; (2) menekan gulma dan mengurangi biaya penyiangan; (3) mengatur suhu tanah; (4) meningkatkan kandungan bahan organik tanah; dan (5) mengurangi penguapan air tanah atau meningkatkan kelembapan tanah. Jika dipakai mulsa plastik, maka peran mulsa untuk meningkatkan kandungan bahan organik tanah tidak dapat dicapai. Penutup tanah atau rumput yang ditanam di antara tanaman pohon-pohonan dapat dengan mudah dipangkas untuk bahan mulsa.

Penutupan keseluruhan



Penutupan secara strip



Pohon
buah-buahan

Tanaman
penutup buah

Mulsa

Gambar 5. Bagan penyebaran mulsa di lahan pertanian (Sumber: FFTC, 1995).

Dalam menerapkan teknik mulsa perlu diperhatikan beberapa hal sebagai berikut: pemberian mulsa perlu dijaga agar tidak menyebabkan berkembangnya hama dan penyakit tanaman atau kebakaran, pemberian mulsa pada perkebunan jangan terlalu tebal dan sebaiknya diletakkan dalam strip atau barisan. Jika digunakan mulsa plastik, maka aliran permukaan akan meningkat, sehingga perlu disiapkan drainase dan SPA yang cukup.

Pemanfaatan sisa tanaman yang disebar di permukaan atas tanah sebagai mulsa dan mulsa vertikal (*slot mulch*) ditujukan untuk melindungi tanah dari pukulan air hujan, mempertahankan kandungan bahan organik, menekan erosi dan mengurangi evaporasi tanah sehingga kelembapan tanah tetap terjaga. Penelitian Haryati *et al.* (1991) pada tanah Ustortent Gondang Legi Boyolali yang menggunakan 20 t bahan hiaju *Flemingia congesta* ha⁻¹ sebagai mulsa berpengaruh nyata terhadap hasil biji dan biomassa jagung + kedelai dan kacang tunggak yaitu 3.1; 1,23; dan 0,53 t biji ha⁻¹. Selain itu, mulsa *Flemingia congesta* menekan pertumbuhan dan produksi gulma. Pramono *et al.* (1991) melaporkan bahwa penggunaan mulsa 2 t jerami ha⁻¹ meningkatkan secara nyata tinggi tanaman, jumlah anakan, dan bobot umbi di Gunung Sari, Boyolali.

Pemberian mulsa dipermukaan tanah dapat meningkatkan produksi tanaman pangan, dan menurunkan erosi. Pemulsaan mengakibatkan erosi lebih bersifat selektif terhadap partikel tanah yang halus. Bertambahnya mulsa mengakibatkan kecepatan aliran permukaan berkurang, sehingga kapasitas transportasi aliran menurun. Sedimen yang kasar terdeposisi di belakang mulsa, sedangkan sedimen yang relatif halus seperti liat dan koloid tetap terbawa aliran permukaan (Sinukaban, 1990). Selektivitas erosi meningkat dengan semakin kecilnya erosi dan erosi tidak bersifat selektif bila erosi besar. Pada umumnya C-organik maupun unsur hara diikat aktif oleh sedimen berukuran halus, sehingga penambahan mulsa menghasilkan sedimen yang mengandung C-organik dan unsur hara lebih tinggi. Konsentrasi P-Bray I dan K-dd meningkat secara linier dengan bertambahnya jumlah mulsa yang diberikan. Selain itu, rasio pengkayaan-perbandingan konsentrasi suatu unsur dalam sedimen dengan konsentrasi unsur tersebut dalam tanah asal meningkat dengan bertambahnya penutupan mulsa. Walaupun nisbah pengkayaan unsur hara meningkat dengan bertambahnya mulsa, tetapi jumlah hara yang hilang cenderung menurun (Tabel 9). Hal ini disebabkan menurunnya jumlah erosi akibat pemberian mulsa.

Pemberian mulsa vertikal (slot mulsa) pada lahan kering lebih banyak ditekankan untuk menjaga kelembapan tanah. Kelembapan tanah dapat dipertahankan sampai jarak 150 cm dari tempat mulsa. Bahan organik berperan dalam mempertahankan kelengasan tanah terutama 10 hari setelah hujan (Tabel

10). Hal ini berkaitan dengan kemampuan bahan organik dalam mengikat air yang lebih besar dibandingkan dengan tanah. Urutan kemampuan memegang air adalah bahan organik > tanah bertekstur liat > tanah bertekstur pasir. Pemberian bahan organik dari pupuk kandang (pukan) meningkatkan secara nyata biomassa dan biji kedelai (Sutono dan Agus, 2000). Sebagai bahan pembaik tanah, pupuk kandang dan kompos terbukti sangat baik, namun variasi dalam kandungan haranya menghendaki penambahan pupuk buatan untuk meningkatkan hasil tanaman dan takaran yang besar menyulitkan dalam pengadaan.

Tabel 9. Pengaruh mulsa terhadap produksi tanaman, erosi, dan hara yang hilang pada Latosol Coklat Kemerahan di Darmaga, Bogor pada lereng 7-14% (November 1988 – Mei 1989)

Penutupan mulsa	Hasil		Tanah tererosi	Kehilangan bahan organik dan hara				
	Polong kacang tanah	Biji jagung		C-organik	N-total	P-Bray I	K	Mg
%	kg ha ⁻¹		t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹				
0	858	1.796	96,1	9.898	432	9,3	107	543
30	993	1.448	60,2	8.428	355	6,2	61	357
60	1.072	1.494	40,8	9.751	224	9,0	80	324
90	1.170	1.604	39,1	1.573	246	9,9	106	568

Sumber: Sinukaban (1990)

Tabel 10. Pengaruh bahan organik dan zeolit terhadap kelengasan dan hasil kedelai di Cibugel, Sumedang

Perlakuan	Kelengasan tanah setelah hujan > 10 mm					Hasil kedelai	
	1 hari	3 hari	6 hari	10 hari	14 hari	Biomassa	Biji
	% volume					kg ha ⁻¹	
Kontrol	51,7	52,0	47,7	45,3	30,7	842 c	580 c
Pukan 5 t ha ⁻¹	50,7	50,4	47,5	47,3	30,0	865 bc	622 bc
Pukan 10 t ha ⁻¹	51,8	52,3	48,6	47,2	32,3	1.259 ab	734 bc
Zeolit 0,3 t ha ⁻¹	50,2	51,0	49,8	48,8	32,3	1.091 b	711 bc

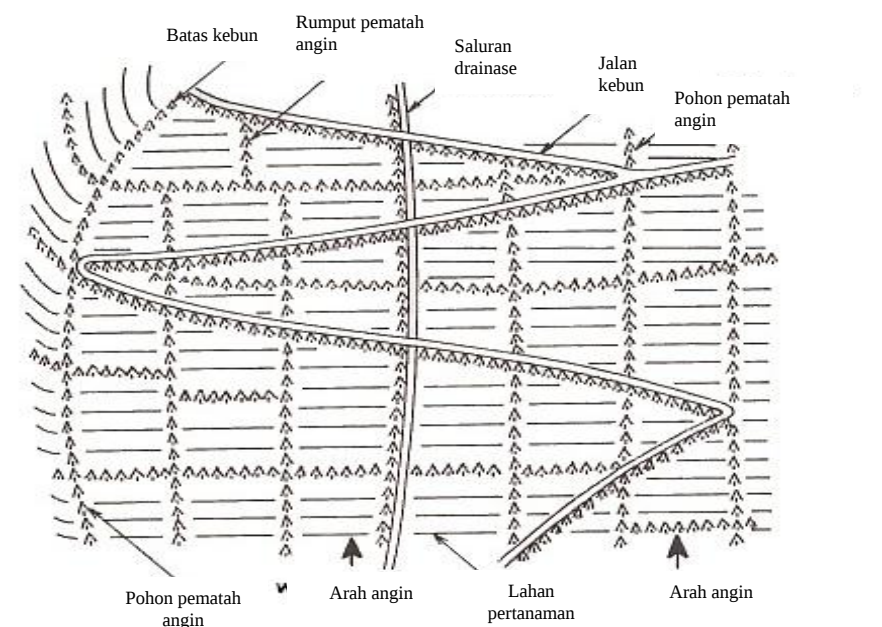
Sumber: Sutono dan Agus, 2000

PEMATAH ANGIN

Pematah angin (*windbreaks*) adalah barisan pohon atau rumput tinggi yang ditanam dengan jarak yang tepat untuk mencegah atau mengurangi erosi angin dan kerusakan tanaman yang disebabkan oleh angin (Gambar 6.). Pematah

angin berguna untuk: (a) mengendalikan erosi angin; (b) mengurangi kerusakan fisiologis atau mekanis terhadap tanaman yang disebabkan oleh angin yang keras; (c) mengurangi evapotranspirasi; dan (d) mengurangi kerusakan tanaman akibat garam jika lokasinya dekat laut.

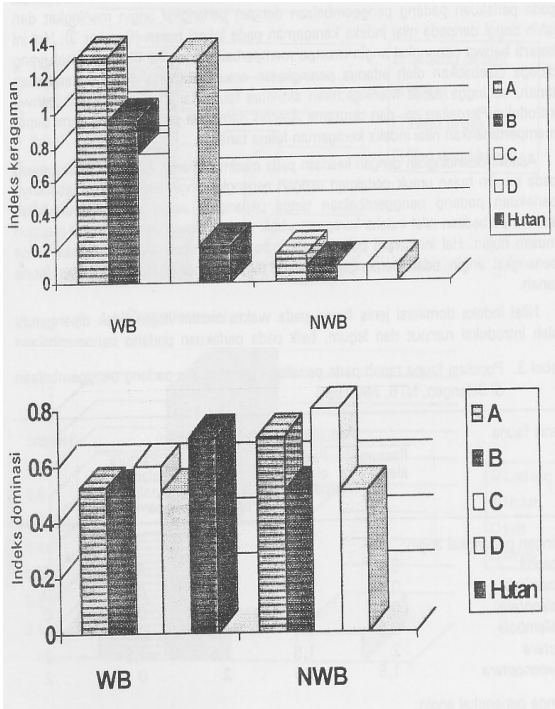
Pematah angin digunakan di daerah yang anginnya kuat atau kalau akan ditanam tanaman yang tidak tahan angin yang keras. Pohon yang dipakai untuk pematah angin adalah pohon yang tumbuhnya tegak dengan perakaran dalam dan dengan cabang dan ranting yang kuat dan dapat menahan angin yang keras. Spesies tanaman yang dapat dipakai antara lain *Accacia mangium*, *Accasia auriculiformis*, *Mahagonia* sp., *Sesbania grandiflora*, *Casuarina* sp. dan bambu. Letak tanaman pematah angin perlu diatur agar tidak mengganggu pekerjaan lapang. Arah barisan pematah angin tegak lurus dengan arah angin dan waktu tanamannya masih kecil disebelahnya dari arah datangnya angin lebih dahulu dapat ditanam rumput untuk melindungi pohon pematah angin yang baru ditanam. Setelah pohonnya besar, maka akarnya harus dicegah jangan sampai mengganggu daerah pertanaman dan jika tajuknya tertalu rindang supaya dipangkas.



Gambar 6. Bagan pematah angin (Sumber: FFTC, 1995)

Pohon pematah angin tidak saja berguna untuk mengurangi kecepatan angin, tetapi berpengaruh juga terhadap kelembapan tanah dan populasi fauna

dalam tanah yang ditunjukkan oleh perbedaan indek keragaman jenis dan indeks dominansi fauna (Gambar 7). Indek keragaman fauna dengan pematah angin lebih besar dibandingkan tanpa pematah angin (Sukristiyonubowo *et al.*, 1998). Indeks keragaman jenis fauna pada lahan kering di NTB menunjukkan bahwa perladangan menghasilkan nilai indeks keragaman fauna dalam tanah paling besar. Hal ini disebabkan karena pada perladangan sering dilakukan pengolahan tanah, kandungan bahan organik lebih baik dibandingkan dengan lahan pada penggembalaan dan hutan. Dengan fauna yang beragam, berarti dinamika biologi dalam tanah semakin meningkat. Pada ekosistem hutan, indek keragaman paling rendah, sedangkan indeks dominansi fauna paling tinggi. Pada ekosistem hutan, fauna *Acarina* sangat dominan, sehingga populasi fauna tanah yang lain seperti *Collembola*, *Diptera*, *Hymenoptera*, *Coleoptera*, dan *Arachida* menjadi berkurang. Selain dengan pohon pematah angin, introduksi *Paspalum* sp. dan *Arachis gambrata* dapat mempertahankan nilai indek keragaman fauna.



Gambar 7. Indeks keragaman jenis dan indeks dominansi fauna pada beberapa penggunaan lahan pada ekosistem lahan kering di NTB (Sukristiyonubowo *et al.*, 1998)

Catatan:

- WB = dengan pematah angin dari mahoni (*Mahagonia* sp.) dan turi (*Sesbania grandiflora*)
- NWB = tanpa pematah angin
- Pastura alami
 - Pastura alami + *Paspalum* sp.
 - Pastura alami + *Arachis gambrata*
 - Pastura alami + *Paspalum* sp. + Pastura alami + *Paspalum* sp.

PENUTUP

Teknologi konservasi tanah secara vegetatif telah tersedia cukup banyak, tetapi dalam kenyataannya penerapan atau adopsinya oleh petani masih terbatas, sehingga masih banyak lahan pertanian yang tererosi. Oleh karena itu, berbagai upaya untuk menyebarluaskan dan mempercepat adopsi teknologi ini perlu ditingkatkan. Sebagai langkah awal perlu dilakukan pemahaman pedesaan secara partisipatif (*participatory rural appraisal*, PRA) untuk memahami kondisi sosial ekonomi, sistem pertanian yang ada, permasalahan konservasi tanah yang dihadapi dan aspirasi petani untuk mengatasi permasalahan tersebut perlu dipahami bersama-sama dengan petani. Petani yang akan dibina harus diikutsertakan dalam proses kegiatan pengembangan teknologi, sejak penyusunan rencana penyuluhan dan penyebaran teknologi sampai ke kegiatan-kegiatan lain berikutnya. Dengan demikian mereka akan dapat berpartisipasi secara aktif sejak memilih dan mengenalkan teknologi yang akan disebarluaskan, sampai ke pelaksanaan pengembangan dan penilaian dampak teknologi tersebut, sehingga proses adopsinya diharapkan dapat berlangsung dengan mudah dan cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih J.S. dan Mulyadi. 1993. Alternatif teknik rehabilitasi dan pemanfaatan lahan alang-alang. hlm. 29 – 50 *dalam* Prosiding Pemanfaatan Lahan Alang-alang untuk Usaha tani Berkelanjutan. Bogor, 1 Desember 1992. Puslittanak, Bogor.
- Agus, F. 2000. Kontribusi bahan organik untuk meningkatkan produksi pangan pada lahan kering beriklim kering bereaksi masam. hlm. 87–104 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Sumber Daya Lahan: Buku III. Cisarua-Bogor, 9-11 Februari 1999. Puslittanak, Bogor.
- Anonymous. 1993. Management of sloping lands for sustainable agriculture in Indonesia. p. 21-51. *In* IBSRAM (International Board for Soil Research and Management). Annual Technical Report on the Management of Sloping Lands for Sustainable Agriculture in Asia Network (*ASIALAND*). Network Document No. 4. Bangkok, Thailand.

- Arsyad, S. 2000. Konservasi Tanah dan Air. UPT Produksi Media Indonesia. Cetakan ke III. Lembaga Sumberdaya Informasi IPB. 288 hlm.
- Effendi, S. 1984. Membangun pertanian lahan kering yang tangguh. hlm. 391-398 *dalam* Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Pola Usaha tani Menunjang Transmigrasi. Cisarua, Bogor 27-29 Februari 1984. Badan Litbang Pertanian, Deptan.
- Erfandi, D., H. Suwardjo, dan A. Rachman. 1988. Penelitian *alley cropping* di Kuamang Kuning, Jambi. hlm. 105–110 *dalam* Prosiding Hasil Penelitian Pola Usaha tani Terpadu di Daerah Transmigrasi Kuamang Kuning Jambi. Puslit Tanah, Bogor.
- Erfandi, D., I. Juarsah, dan U. Kurnia. 2001. Perbaikan sifat fisik tanah Ultisols Jambi melalui pengelolaan bahan organik dan guludan. hlm. 171–182. *dalam* Prosiding Seminar Nasional Reorientasi Pendayagunaan Sumberdaya Tanah, Iklim, dan Pupuk: Buku I. Cipayung-Bogor, 31 Oktober – 2 Nopember 2000. Puslitbangtanak, Bogor.
- FFTC. 1995. Soil Conservation Handbook. Chinese Edition. Food and Fertilizer Technology Center (FFTC) for the Asian and Pacific Region. Taipei. Taiwan.
- Hafif, B., D. Santoso, Mulud Suhardjo, dan I G. P. Wigena. 1992. Beberapa cara pengelolaan tanah untuk pengendalian erosi. Pembrit. Penel. Tanah dan Pupuk 10: 54-60.
- Haryati, U., A. Rachman, dan A. Abdurachman. 1991. Aplikasi mulsa *Flemingia congesta* pada pola tanam jagung-kedelai-kacang tunggak pada tanah Ustortent Gondang Legi. hlm. 1-11 *dalam* Risalah Seminar Hasil Penelitian Tanah Pertanian Lahan Kering dan Konservasi Tanah di Kabupaten Semarang dan Boyolali. P3HTA/UACP.FSR. Badan Litbang Pertanian.
- Irawan, J. Purnomo, Sukristiyonubowo dan D. Santoso. 2000. Pendekatan partisipatif pengembangan dan kelayakan finansial teknologi budi daya lorong dalam peningkatan produksi pangan pada lahan kering. hlm. 457–470 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Sumber Daya Lahan: Buku III. Cisarua-Bogor. 9-11 Februari 1999. Puslittanak, Bogor.
- Irianto, G., S. H. Tala'ohu, dan H. Suwardjo. 1993. Rehabilitasi lahan alang-alang akibat perladangan berpindah melalui peningkatan produktivitas lahan dan konservasi tanah. hlm. 34 – 38 *dalam* Risalah Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Puslittanak, Bogor.
- Kang, B. T., A. C. B. M. van der Kruijs, and D. C. Couper. 1989. Alley cropping for food crop production in the humid and subhumid tropics. p. 16-26. *In* Kang, B. T. and L. Reynolds (Eds.). Alley Farming in the Humid and Subhumid Tropics. Proc. International Workshop Ibadan, Nigeria. 10-14 March 1986.

- IITA and ILCA. Addis Ababa. Ethiopia. IDRC Ottawa. Ont. Canada and USAID Washington. D. C. USA.
- Kang, B. T., G. F. Wilson, and L. Sipkens. 1981. Alley cropping maize (*Zea mays* L.) and leucaena (*Leucaena leucocephala* Lam.) in Southern Nigeria. *Plant and Soil* 63: 165–179.
- King, K. F. S. 1989. The history of agroforestry. p. 3-12. *In* *Agroforestry Systems in the Tropics*. Kluwer Academic Publishers. London.
- Nair, P. K. R. 1989. *Agroforestry Systems in the Tropics*. Kluwer Academic Publishers. London.
- Pramono, J., E. Sukarna, dan D. S. Effendi. 1991. Efek pemberian berbagai macam mulsa terhadap pertumbuhan dan hasil bawang merah (*Allium ascalonicum*) di Gunung Sari. hlm. 60–65 *dalam* Risalah Seminar Hasil Penelitian Tanah Pertanian Lahan Kerting dan Konservasi Tanah di Kabupaten Semarang dan Boyolali. P3HTA. Badan Litbang Pertanian
- Purnomo, J., Mulyadi, I. Amien, dan H. Suwardjo. 1992. Pengaruh berbagai bahan hijau tanaman kacang-kacangan terhadap produktivitas tanah rusak. *Pembrit. Penel. Tanah dan Pupuk* 10: 61-65.
- Sanders, D. W. 1991. Conservation Policy Consideration at the International and Regional Levels. *Int. Workshop on Conservation Policies for Sustainable Hillslope Farming*. Session I. March 11-15, 1991. Solo, Indonesia.
- Santoso, D., I G. P. Wigena, Z., Eusof, and X. Chen. 1995. Nutrient balance study on sloping lands. p. 93-108. *In* *Proc. of the International Workshop on Conservation Farming for Sloping Lands in South East Asia: Challenges, Opportunities, and Prospects*. Manila. The Philiphines. 20-26 November 1994. IBSRAM Proc. No. 14. IBSRAM, Bangkok, Thailand.
- Santoso, D., S. Karama, Sri Adiningsih, I G. P. Wigena, J. Purnomo, and S. Widodo. 1994. The management of sloping lands for sustainable agriculture in Indonesia. p. 89-122. *In* Sajjapongse, A. (Ed.). *Reports and Papers on the Management of Sloping Lands in Asia (IBSRAM/ASIALAND)*. Network Document No. 8. IBSRAM. Bangkok.
- Sinukaban, N. 1990. Pengaruh pengolahan tanah konservasi dan pemberian mulsa jerami terhadap produksi tanaman pangan dan erosi hara. *Pembrit. Penel. Tanah dan Pupuk* 9: 32-38.
- Sudharto, T., H. Suwardjo, D. Erfandi, dan T. Budhyastoro. 1993. Permasalahan dan penanggulangan lahan alang-alang. hlm. 51–70 *dalam* *Prosiding Seminar Lahan Alang-alang: Pemanfaatan Lahan Alang-alang untuk Usaha tani Berkelanjutan*. Bogor, 1 Desember 1992. Puslittanak, Bogor
- Sujitno, E., H. Sunaryono, dan E. Sukmana. 1997. Sistem usaha tani terpadu dengan tanaman pokok buah-buahan pada lahan kering bertipe iklim

- basah di Garut Selatan. hlm. 149-162 *dalam* Prosiding Lokakarya Evaluasi Hasil Penelitian Usaha tani lahan Kering. Garut, 6-7 Januari 1997. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Sukristiyonubowo, I G. P. Wigena, E. Santoso, dan D. Santoso. 1998. Sistem hutan pastura untuk meningkatkan produktivitas padang penggembalaan di Nusa Tenggara Barat. hlm. 19-36 *dalam* Prosiding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat: Bidang Kimia dan Biologi Tanah. Bogor, 10-12 Februari 1998. Puslittanak, Bogor.
- Sukristiyonubowo, I G. P. Wigena, E. Tuherkih, Maryam, dan D. Santoso. 2000. Pengaruh sistem hutan pastura terhadap daya dukung dan sifat tanah padang penggembalaan. *Jurnal Tanah dan Iklim* 18: 54-64.
- Suprayogo, D., S. Priyono, dan Syekhfani. 1997. Pengaruh strip rumput setaria dan pengelolaan tanah serta sisa tanaman terhadap aliran permukaan, erosi, dan produksi kacang tanah. hlm. 201–210 *dalam* Pros. Konggres Nasional HITI VI: Buku I. Jakarta.
- Sutono, S., dan F. Agus. 2000. Pengaruh pembenah tanah terhadap hasil kedelai di Cibugel. Sumedang. hlm. 379–391 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Sumber Daya Lahan: Buku III. Cisarua-Bogor, 9-11 Februari 1999. Puslittanak, Bogor.
- Sutono, S., Suhartono, dan U. Kurnia, 1998. Tanaman pagar serengan jantan (*Flemingia congesta* Roxb.) dan pengaruhnya terhadap sifat fisika tanah Ultisol Jasinga. hlm. 129–141 *dalam* Prosiding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat: Bidang Fisika dan Konservasi Tanah dan Air serta Agroklimat, Bogor, 10–12 Februari 1998. Puslittanak, Bogor.
- Suwardjo, H., L. H. Sibuea, dan J. Purnomo. 1988. Penerapan pola tanam dalam usaha perawatan tingkat produktivitas tanah di Kuamang Kuning, Jambi. hlm. 145–163 *dalam* Hasil Penelitian Pola Usaha tani Terpadu di Daerah Transmigrasi Kuamang Kuning, Jambi. Puslit Tanah, Bogor.
- Syam, M., A. Widjono, Hermanto, G. I. Ismail, H. Anwarhan, dan M. Sabrani. 1996. Usaha tani Tanaman Meningkatkan Produktivitas Lahan dan Pendapatan Petani. Puslitbangtan. Badan Litbang Pertanian.
- Tala'ohu, S. H., I. Juarsah, U. Kurnia dan H. Kusnadi. 2001. Pengaruh teknik pengolahan tanah terhadap produktivitas Typic Kanhapludults, Jambi. hlm. 183-197 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Reorientasi Pendayagunaan Sumberdaya Tanah, Iklim dan Pupuk. Buku I. Cipayung-Bogor, 31 Oktober – 2 November 2000. Puslitbangtanak, Bogor.
- Tuherkih, E. 1996. Sistem Pengelolaan Tanaman dalam Usaha tani Konservasi Lahan Kering. Pelatihan Pengembangan Sistem Usaha tani Konservasi

- untuk Meningkatkan Pengetahuan dan Keterampilan Petani. Kerjasama Puslittanak, IBSRAM dan SDC. Kubang Ujo. Jambi, 7-9 Mei 1996.
- Van Noordwijk, M., K. Hairiah, B. Lusiana, and G. Candish. 1998. Tree-soil-crop interactions in sequential and simultaneous agroforestry systems. p. 173–190. *In* L. Bergstrom and H. Kirchmann (Eds.). Carbon and Nutrient Dynamics in Natural and Agricultural Tropical Ecosystems. CAB International. Wallingford, UK.
- Watson, H. R., dan W.A. Laquihon. 1993. Bagaimana Mengolah Tanah yang Berbukit-bukit Tanpa Kehilangan Kesuburan Tanahnya dengan SALT (*Sloping Agricultural Land Technology*). 15 hlm.
- Widjaja-Adhi, I P. G., T. Budhiastoro, dan H. Djohar. 1993. Teknologi pengembangan lahan kering marginal untuk usaha tani terpadu di Kalimantan Timur. hlm. 97-109 *dalam* Risalah Seminar Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Puslittanak, Bogor.

5. TEKNOLOGI KONSERVASI TANAH MEKANIK

Ai Dariah, Umi Haryati, dan Torry Budhyastoro

Konservasi tanah mekanik adalah semua perlakuan fisik mekanis yang diberikan terhadap tanah, dan pembuatan bangunan yang ditujukan untuk mengurangi aliran permukaan dan erosi serta meningkatkan kelas kemampuan tanah. Teknik konservasi tanah ini dikenal pula dengan sebutan metode sipil teknis.

Perlakuan fisik mekanis terhadap tanah tetap diperlukan meskipun metode sipil teknis bukan menjadi pilihan utama. Misalnya, meskipun tindakan konservasi vegetatif menjadi pilihan utama, namun perlakuan fisik mekanis seperti pembuatan saluran pembuangan air (SPA) atau bangunan terjunan masih tetap diperlukan untuk mengalirkan sisa aliran permukaan yang tidak terserap oleh tanah. Teknik konservasi mekanik juga perlu dipertimbangkan bila masalah erosi sangat serius (Agus dan Widiyanto, 2004), dan/atau teknik konservasi vegetatif dinilai sudah tidak efektif lagi untuk menanggulangi erosi yang terjadi. Pada prakteknya, sulit dipisahkan antara teknik konservasi tanah mekanik dan vegetatif. Penerapan teknik konservasi tanah secara mekanik juga akan lebih efektif dan efisien apabila dikombinasikan dengan teknik konservasi tanah vegetatif, seperti penggunaan rumput atau *legume* sebagai tanaman penguat teras, penggunaan mulsa, ataupun pengaturan pola tanam.

Selain teras bangku dan berbagai bentuk teras lainnya, misalnya teras gulud, teras kebun, teras kredit, dan teras individu, metode konservasi tanah lainnya yang tergolong sebagai tindakan sipil teknis (mekanis) adalah rorak, mulsa vertikal, barisan batu, saluran drainase (saluran pengelak, saluran pembuangan air dan bangunan terjunan), pembuatan bedengan searah kontur, dan lain sebagainya. Olah tanah konservasi (olah tanah minimum, tanpa olah tanah, pengolahan tanah menurut kontur) juga termasuk teknik konservasi mekanik, namun khusus untuk olah tanah konservasi akan dibahas pada bab tersendiri.

TERAS

Teras merupakan metode konservasi yang ditujukan untuk mengurangi panjang lereng, menahan air sehingga mengurangi kecepatan dan jumlah aliran permukaan, serta memperbesar peluang penyerapan air oleh tanah. Tipe teras

yang relatif banyak dikembangkan pada lahan pertanian di Indonesia adalah teras bangku atau teras tangga (*bench terrace*) dan teras gulud (*ridge terrace*). Teras kredit dapat dikembangkan untuk menanggulangi tingginya biaya pembangunan teras bangku. Bentuk teras lainnya, seperti teras kebun dan teras individu diterapkan pada tanah dengan jenis tanaman tahunan, khususnya tanaman perkebunan dan tanaman buah-buahan.

Teras bangku atau teras tangga (*bench terrace*)

Teras bangku atau teras tangga dibuat dengan cara memotong panjang lereng dan meratakan tanah di bagian bawahnya, sehingga terjadi suatu deretan bangunan yang berbentuk seperti tangga. Pada usaha tani lahan kering, fungsi utama dari teras bangku adalah: (1) memperlambat aliran permukaan; (2) menampung dan menyalurkan aliran permukaan dengan kekuatan yang tidak merusak; (3) meningkatkan laju infiltrasi; dan (4) mempermudah pengolahan tanah.

Teras bangku dapat digolongkan sebagai teknik konservasi tertua dan telah banyak diaplikasikan di berbagai Negara. Misalnya saja di North Carolina tercatat bahwa teras bangku telah diterapkan pada lahan usaha tani sejak tahun 1885 (Troeh *et al.*, 1991). Penerapan teras bangku di Indonesia juga sudah tergolong tua, meskipun pada mulanya penerapan teknik konservasi ini dititikberatkan pada lahan sawah atau lebih berfungsi sebagai teras irigasi.

Sejak tahun 1975, teras bangku telah menjadi bagian dari kegiatan penghijauan, yakni setelah diberlakukannya inpres penghijauan (Siswomartono *et al.*, 1990). Pemberian subsidi sebesar 52% (Mangundikoro, 1975) mendorong pembuatan teras bangku secara besar-besaran, khususnya pada areal lahan kering di Pulau Jawa. Teras bangku merupakan teknik konservasi tanah dengan tingkat adopsi tergolong tinggi, terlihat dari masih bersedianya petani untuk tetap mempertahankan teknik ini pada lahannya, meskipun proyek sudah berakhir. Sebagai contoh, pada areal target UP-UPSA Proyek Rehabilitasi dan Pengembangan Agroforestry di daerah aliran sungai (DAS) Cimanuk Hulu, 68% lahan masih dalam kondisi diteras bangku (Agus *et al.*, 1995). Namun demikian, pada umumnya teras bangku yang ada di lahan petani masih memerlukan penyempurnaan (Gambar 1), diantaranya dalam hal: (1) kemiringan bidang olah, terutama untuk tanah-tanah dengan laju penyerapan tanah relatif rendah; (2) guludan (talud) dan tanaman penguat di bibir teras; (3) tampingan perlu dipadatkan dan ditanami rumput; (4) penyempurnaan SPA; dan (5) pembuatan/penyempurnaan bangunan terjunan (*drop structure*) (Agus *et al.*, 1995, Abdurachman *et al.*, 1995).

Faktor subsidi bukan satu-satunya alasan kenapa tingkat adopsi teras bangku khususnya di Pulau Jawa tergolong tinggi, karena beberapa teknik konservasi tanah lainnya yang juga pernah diintroduksi dengan disertai pemberian subsidi, tingkat adopsinya tidak setinggi teras bangku. Faktor tradisi cukup berperan dalam proses adopsi teknologi ini. Bagi petani di Pulau Jawa (misalnya petani di DAS Cimanuk Hulu), pembuatan teras bangku merupakan tradisi penterasan yang sudah biasa dilakukan pada lahan sawah (Agus *et al*, 1995). Sebagian besar petani juga merasa bahwa teras merupakan bangunan konservasi yang relatif tidak mudah rusak, selain teras juga dapat mempermudah praktek pengolahan tanah. Dipandang dari segi teknis, teras bangku merupakan suatu teknik pengendalian erosi yang efektif (Abdurachman dan Sutono, 2002).

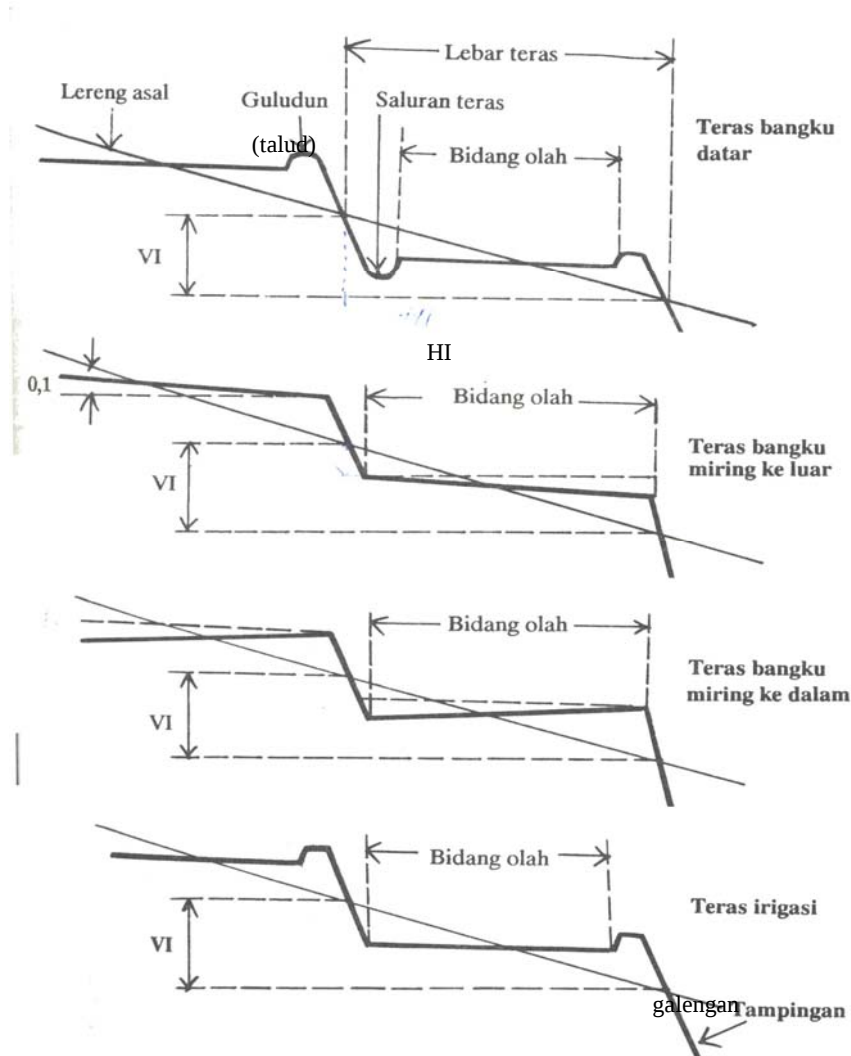


Gambar 1. Teras bangku (belum ditanami tanaman penguat teras) pada usaha tani lahan kering di DAS Cimanuk Hulu (Foto: F. Agus)

Beberapa tipe teras bangku

Teras bangku dapat dibuat datar (bidang olahnya datar/membentuk sudut 0° dengan bidang horizontal), miring ke dalam/*goler kampak* (bidang olahnya miring beberapa derajat ke arah yang berlawanan dengan lereng asli), dan miring keluar (bidang olah miring ke arah lereng asli), sedangkan teras irigasi adalah teras bangku datar, tanpa saluran teras. Teras ini biasa digunakan pada sistem sawah tadah hujan. Empat tipe teras bangku tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.

Teras bangku miring ke dalam (*goler kampak*) dibangun pada tanah-tanah yang permeabilitasnya rendah, dengan tujuan agar air yang tidak segera terinfiltrasi tidak mengalir ke luar melalui talud di bibir teras. Teras bangku goler kampak memerlukan biaya relatif lebih mahal dibanding teras bangku datar atau teras bangku miring ke luar, karena memerlukan lebih banyak penggalian bidang olah. Banyaknya penggalian menyebabkan pula tingginya peluang tersingkapnya lapisan bawah yang kurang subur (Agus dan Widiyanto, 2004). Oleh karena itu, untuk tanah-tanah yang permeabilitasnya relatif tinggi, dianjurkan untuk memilih teras bangku datar. Teras bangku miring keluar merupakan teras bangku yang membutuhkan biaya paling murah dibanding teras bangku goler kampak atau teras bangku datar. Namun efektivitasnya dalam menekan erosi dan aliran permukaan relatif lebih rendah (Haryati et al., 1995; Agus dan Widiyanto, 2004).



Keterangan: VI= vertikal interval, HI=horizontal interval

Gambar 2. Empat tipe teras bangku (Sketsa: P3HTA, 1990)

Efektivitas teras bangku akan meningkat bila ditanami tanaman penguat teras pada bibir dan tampingan teras (Gambar 3). Beberapa penelitian membuktikan bahwa efektivitas teras bangku bertambah dengan penanaman rumput pada bibir teras. Pada tanah Latosol (Oxisols) di Gunasari, besarnya erosi pada tahun pertama hanya $1,2 \text{ t ha}^{-1}$ dan pada tahun kedua menurun lagi sampai $0,4 \text{ t ha}^{-1}$ apabila teras bangku diperkuat dengan rumput bedé (*Brachiaria decumbens*) (Haryati *et al.*, 1992). Hasil penelitian di Sitiung, selama musim pertanaman kedelai (*Glycine max*) dan jagung (*Zea mays*), erosi hampir tidak terjadi dengan diaplikasikannya teras bangku yang diperkuat dengan rumput bahia (*Paspalum notatum*) (Tala'ohu *et al.*, 1992). Dengan dilakukannya penanaman tanaman penguat teras, akan didapat nilai tambah lainnya dari teras bangku, yaitu sebagai sumber pakan ternak dan bahan organik tanah. Jenis tanaman yang biasa digunakan sebagai tanaman penguat teras adalah tanaman legum seperti hahapaan (*Flemingia congesta*), gamal (*Gliricidia sepium*) dan rumput seperti bahia (*Paspalum notatum*), bedé (*Brachiaria decumbens*), setaria (*Setaria sphacelata*), gajah (*Penisetum purpureum*) atau akar wangi (*Vetiveria zizanioides*). Tanaman spesifik tertentu misalnya murbai (*Morus alba*) dapat juga digunakan sebagai tanaman penguat teras. Penggunaan tanaman murbei sebagai tanaman penguat teras banyak dilakukan di daerah pengembangan ulat sutra. Teras bangku kadang-kadang dapat diperkuat juga dengan menggunakan batu (khususnya pada tampingan), model seperti ini banyak diterapkan pada tanah-tanah yang berbatu (Gambar 4).



Gambar 3. Teras bangku dengan tanaman penguat legum (kiri) dan tanaman penguat rumput (kanan) (Foto: Sutono)



Gambar 4. Teras bangku dengan penguat rumput dan batu (Foto: Sutono)

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan teras bangku adalah:

- ~ dapat diterapkan pada lahan dengan kemiringan 10-40% (Agus dan Widiyanto, 2004). Tidak dianjurkan pada lahan dengan kemiringan >40%, karena bidang olah akan menjadi terlalu sempit;
- ~ tidak cocok pada tanah dangkal (<60 cm);
- ~ tidak cocok pada lahan usaha pertanian yang menggunakan mesin-mesin pertanian;
- ~ tidak dianjurkan pada tanah-tanah dengan kandungan aluminium dan besi tinggi;
- ~ tidak dianjurkan pada tanah-tanah yang mudah longsor,
- ~ memerlukan tenaga dan modal yang sangat besar, yaitu mencapai 500-900 HOK ha⁻¹ (Agus *et al.*, 1999);
- ~ sebagai akibat pemotongan dan perataan tanah, tanah bagian bawah yang relatif kurang subur akan muncul di permukaan, maka paling sedikit 2-3 tahun setelah pembangunannya, perhatian yang cukup harus diberikan

dalam penambahan bahan organik, baik dalam bentuk sisa tanaman atau pupuk kandang (Arsyad, 2000); dan

~ luas lahan yang dapat ditanami (bidang olah) akan semakin berkurang dengan semakin bertambahnya kecuraman lereng (Tabel 1).

Tabel 1. Berkurangnya luas permukaan lahan (bidang olah) akibat aplikasi teras bangku, dengan interval tegak 1,25 m

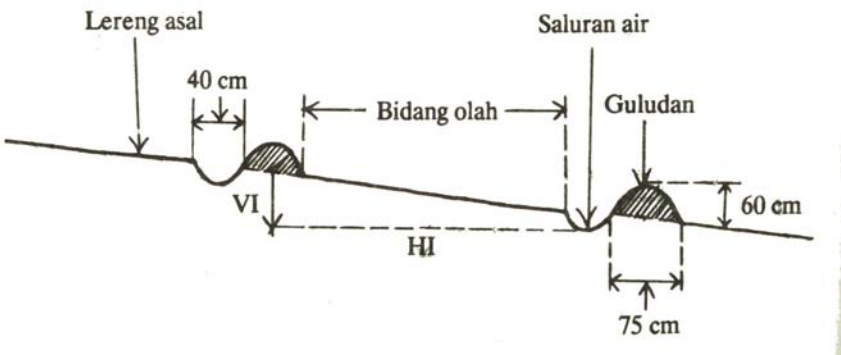
Lereng	Jumlah teras	Berkurangnya luas permukaan bidang olah lahan					Total	
		D	T	P	B	S		
%		m ²					m ² ha ⁻¹ *	%
10	10	43	500	300	500	150	1.493	14,93
15	15	89	748	449	748	150	2.184	21,84
20	20	144	999	600	999	150	2.892	28,92
25	24	202	1.247	748	1.247	150	3.594	35,94
30	29	257	1.498	899	1.498	150	4.302	42,02
40	37	343	1.998	1.199	1.998	150	5.688	56,88

Sumber: Sukmana, 1996

* 1 ha = 100 m x 100 m, D=perubahan permukaan lahan dari miring menjadi bidang olah datar; T=tampangan (2:1), P=parit (lebar 0,3 m), B= tanaman penguat di bibir teras (lebar 0,5 m), S=saluran pembuangan air/SPA (2 buah, masing-masing lebar 0,75 m)

Teras gulud (contour ridges/ridges terrace)

Teras gulud adalah barisan guludan yang dilengkapi dengan saluran air di bagian belakang guludnya. Metode ini dikenal pula dengan istilah guludan bersaluran. Bagian-bagian dari teras gulud terdiri atas guludan, saluran air, dan bidang olah (Gambar 5).



Gambar 5. Penampang samping teras gulud (Sketsa: P3HTA, 1990)

Fungsi dari teras gulud hampir sama dengan teras bangku, yaitu untuk menahan laju aliran permukaan dan meningkatkan penyerapan air ke dalam tanah. Saluran air dibuat untuk mengalirkan aliran permukaan dari bidang olah ke SPA. Untuk meningkatkan efektivitas teras gulud dalam menanggulangi erosi dan aliran permukaan, serta agar guludan tidak mudah rusak sebaiknya guludan diperkuat tanaman penguat teras. Jenis tanaman yang dapat digunakan sebagai penguat teras bangku, dapat juga digunakan sebagai tanaman penguat teras gulud. Sebagai kompensasi kehilangan luas bidang olah, bidang teras gulud dapat juga ditanami *cash crops* misalnya tanaman katuk, cabai rawit, dan jenis *cash crops* lainnya.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan teras gulud adalah:

- Teras gulud cocok untuk kemiringan lahan antara 10-40%, dapat juga diterapkan pada kemiringan 40-60%, namun relatif kurang efektif (Agus et al., 1999).
- Pada tanah yang permeabilitasnya tinggi, guludan dapat dibuat tepat menurut arah garis kontur. Sedangkan pada tanah yang permeabilitasnya rendah, guludan dibuat miring terhadap kontur sebesar tidak lebih dari satu persen menuju ke arah saluran pembuangan. Hal ini ditujukan agar air yang tidak segera masuk ke dalam tanah dapat disalurkan dengan kecepatan rendah keluar lapangan.

Biaya pembangunan teras gulud relatif lebih murah dibandingkan dengan teras bangku, yaitu dibutuhkan 65-180 HOK ha⁻¹ (Agus et al., 1999). Pengurangan luas bidang olah akibat aplikasi teknologi ini juga relatif rendah (Tabel 2).

Tabel 2. Berkurangnya luas permukaan lahan (bidang olah) sebagai akibat aplikasi teras gulud

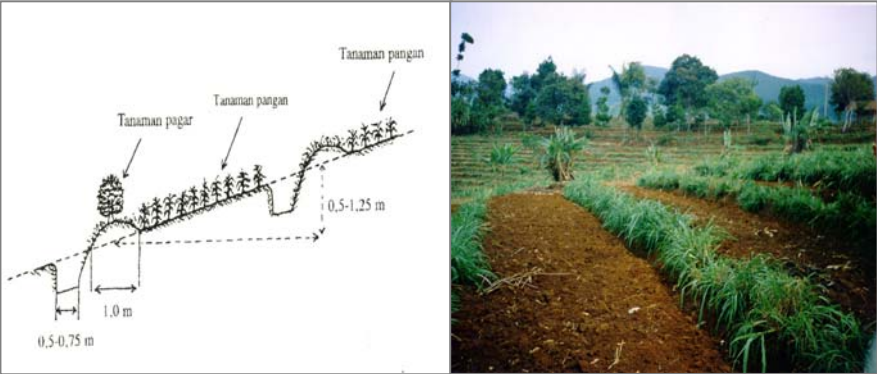
Lereng	Jumlah gulud	Berkurangnya luas permukaan bidang olah lahan **	
%		m ² ha ⁻¹ *	%

5	4	390	3,90
10	8	630	6,30
15	12	870	8,70
20	16	1.110	11,10
25	21	1.410	14,10
30	25	1.650	16,50

Sumber: Sukmana, 1996
* 1 ha= 100 m x 100 m, interval tegak ≈1,25 m; **termasuk guludan, parit dan lebar kanopi tanaman pada guludan (0,6 m) dan dua buah SPA (lebar masing-masing 0,75 m)

Teras kredit (*gradual terrace*)

Teras kredit adalah teras yang terbentuk secara bertahap karena tertahannya partikel-partikel tanah yang tererosi oleh barisan tanaman yang ditanam secara rapat seperti tanaman pagar atau strip rumput yang ditanam searah kontur (Gambar 6). Waktu yang dibutuhkan untuk proses pembentukan teras relatif lama. Pembentukan teras dapat dipercepat melalui pengolahan tanah yang dilakukan dengan menarik tanah ke arah lereng bagian bawah. Rata-rata teras akan terbentuk dengan sendirinya setelah 2-5 tahun (Agus dan Widiyanto, 2004). Hasil penelitian di Sumberjaya, Lampung Barat pada lahan usaha tani kopi dengan kemiringan lahan sekitar 40%, menunjukkan bahwa strip rumput alami yang dibiarkan tumbuh memotong lereng (*partial weeding*) sudah mulai membentuk teras pada tahun ketiga. Pada Tropohumults Jasinga, berlereng 5-15%, tanaman pagar *Flemingia congesta* yang ditanam dengan jarak antar tanaman pagar 7,1 m, dapat membentuk teras dengan perbedaan tinggi sekitar 10-15 cm dalam waktu 2-3 tahun saja.



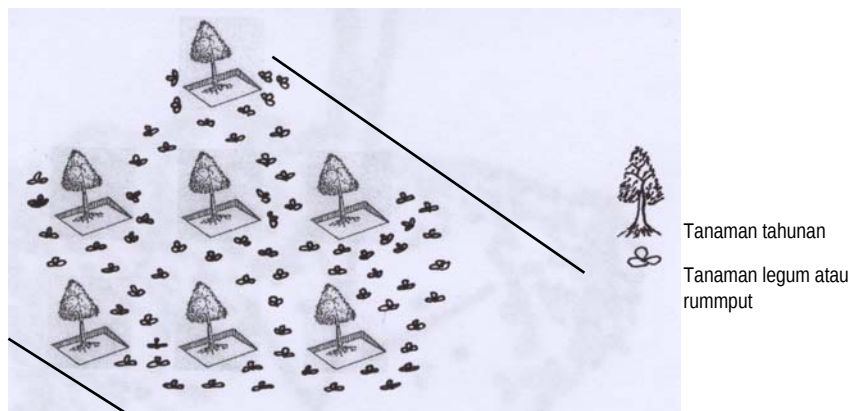
Gambar 6. Penampang samping teras kredit dan strip rumput yang mulai membentuk teras kredit (Skesa dan foto: F.Agus)

Persyaratan yang perlu dipenuhi dalam aplikasi teras kredit adalah: (1) kemiringan lahan 5-40%; (2) struktur tanah remah dan permeabilitasnya tinggi; (3) dapat diterapkan pada tanah dangkal (40 cm), namun untuk tanah sangat dangkal seperti Entisol (Litosol), penggunaan teras ini tidak disarankan; dan (4) tidak sesuai diterapkan pada tanah rawan longsor (Agus et al., 1999).

Teras individu

Teras individu adalah teras yang dibuat pada setiap individu tanaman terutama tanaman tahunan (Gambar 7). Jenis teras ini biasa diaplikasikan pada areal perkebunan atau tanaman buah-buahan.

Selain untuk mengurangi erosi, pembuatan teras individu ditujukan pula untuk meningkatkan ketersediaan air bagi tanaman tahunan (Agus dan Widiyanto, 2004). Fungsi lain dari teras ini adalah untuk memfasilitasi pemeliharaan tanaman tahunan, sehingga tidak semua lahan terganggu dengan adanya aktivitas pemeliharaan, seperti pemberian pupuk, penyiangan, dan lain-lain. Pada bagian lain, lahan dibiarkan tertutup oleh rumput dan atau leguminosa penutup tanah (*legum cover crop*). Jajaran teras individu tidak perlu searah kontur, tetapi menurut arah yang paling cocok untuk penanaman tanaman (misalnya arah timur barat untuk mendapatkan cahaya matahari yang maksimal). Dimensi teras ini bisa bervariasi tergantung jenis dan umur tanaman, namun ukurannya berkisar antara 50-100 cm untuk panjang dan lebar, serta 10-30 cm untuk kedalamannya.

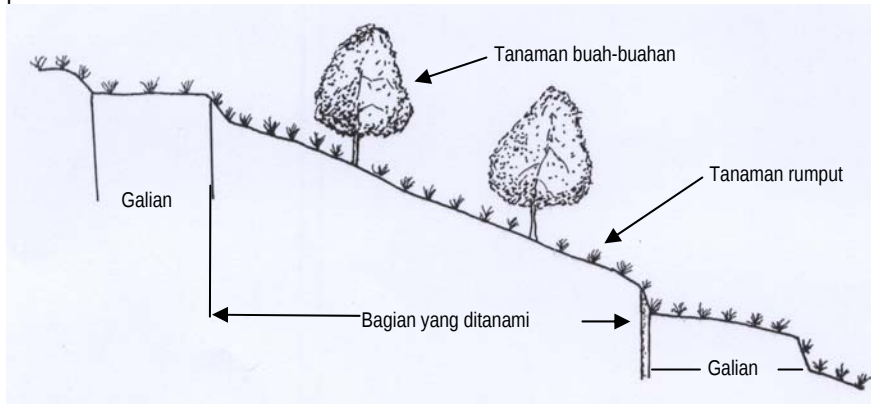


Gambar 7. Sketsa teras individu pada pertanaman tanaman tahunan (Sketsa: S. Marwanto)

Teras individu tergolong efektif dalam mengendalikan erosi. Hasil penelitian Haryati *et al.* (1992) menunjukkan pada tahun pertama setelah pembuatan teras individu, erosi yang terjadi $8,5 \text{ t ha}^{-1}$, dan menurun pada tahun kedua menjadi $3,3 \text{ t ha}^{-1}$.

Teras kebun (*orchard hillside ditches*)

Teras kebun (*orchard hillside ditches*) merupakan jenis teras lain, yang dirancang untuk tanaman tahunan khususnya tanaman buah-buahan. Teras dibuat dengan interval yang bervariasi menurut jarak tanam (Gambar 8). Pembuatan teras ini bertujuan untuk: (1) mengefisienkan penerapan teknik konservasi tanah, dan (2) memfasilitasi pengelolaan lahan (*land mangement facility*), diantaranya fasilitas jalan kebun, dan penghematan tenaga kerja dalam pemeliharaan kebun.



Gambar 8. Sketsa teras kebun pada perkebunan buah-buahan (Sumber: The Chinese Soil and Water Conservation Society, 1987)

Efektivitas teras dalam pencegahan erosi dan aliran permukaan

Hasil penelitian di berbagai lokasi pada berbagai jenis tanah menunjukkan bahwa teras bangku, teras gulud, teras kredit dan teras individu merupakan metode konservasi tanah yang efektif dalam menanggulangi aliran permukaan dan erosi (Tabel 3). Efektivitas teras gulud dalam menahan erosi tidak setinggi teras bangku, namun bila teras gulud mampu menahan erosi sampai di bawah batas erosi yang diperbolehkan, dan lahan belum diteras bangku, maka disarankan pilihan diprioritaskan pada teras gulud mengingat biaya pembuatannya yang jauh lebih rendah, dan relatif lebih mudah diterapkan.

Proyek Penelitian Penyelamatan Hutan Tanah dan Air/P3HTA (1990) menganjurkan agar pemilihan teknik konservasi mekanik mempertimbangkan kedalaman tanah, kemiringan lahan, dan kepekaan tanah terhadap erosi. Penerapan teknik konservasi tanah mekanik juga dianjurkan untuk selalu disertai dengan penanaman tanaman penguat teras (Tabel 4).

Efektivitas teras, baik teras gulud maupun teras bangku semakin meningkat dengan berjalannya waktu. Teras kredit membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan dengan teras gulud dan teras bangku untuk dapat berfungsi baik sebagai pengendali erosi (Gambar 9). Untuk menjaga efektivitasnya, pemeliharaan teras sangat dianjurkan, diantaranya pemeliharaan penguat teras, saluran, dan lain sebagainya sebaiknya dilakukan secara rutin.

Tabel 3. Pengaruh penterasan terhadap aliran permukaan dan erosi

Lokasi; lereng; tanah	Perlakuan	Tanaman	Aliran permukaan	Erosi	TSL*		Sumber**
			% hujan	t ha ⁻¹	mm	t ha ⁻¹ tahun ⁻¹	
Darmaga, Jabar; 15 – 22%; Haplorthox	Teras bangku	Kosong/bera	19,00	7,09	1,6	19,2	Abujamin dan Suwardjo, 1979
	Tanpa teras		27,77	264,25			
Tanjungharjo, DIY; 10%; Troporthents	Teras bangku	Sorghum	3,15	1,58	0,8	9,6	LPT, 1977
	Teras gulud		6,68	5,44			
	Tanpa teras		10,26	45,33			
Ungaran***, Jateng; 15-40%; Eutropept	Teras bangku datar	Jagung+kacang tanah/-ubi kayu	15,71	5,7	1,4	16,8	Haryati et al., 1995
	Teras bangku miring		17,97	8,8			
	Teras gulud		13,90	12,4			
Stimulyo, Jatim; Tropudalf	Teras bangku datar (I)		-	0,6	1,2	14,4	Thamrin et al., 1990
	Teras bangku miring (II)		-	0,65			
	Teras gulud (I)		-	3,6			
	Teras gulud (II)		-	0,5			
Gunasari, Jabar; 15-60%; Haplorthox	Teras bangku petani (I)	Padi gogo + jagung/-ubi kayu	14,0	7,6	1,6	19,2	Haryati et al., 1989
	Teras bangku petani (II)		21,2	3,2			
	Teras gulud (I)	Padi gogo + jagung-kc. tanah+tnm tahunan	16,6	4,8			
	Teras gulud (II)		21,3	1,4			
	Teras bangku datar (I)	Padi gogo + jagung-kc.tungak+tnm tahunan	10,7	1,2			
	Terad bangku datar (II)		17,1	17,1			
	Teras individu (I)	Tanaman tahunan+ rumput+ LCC+LTC	16,0	8,5			
	Teras individu II		20,9	3,3			
Sitiung, Sumbar; 18-	Teras bangku (I)		-	0,28	1,2	14,4	Tala'ohu

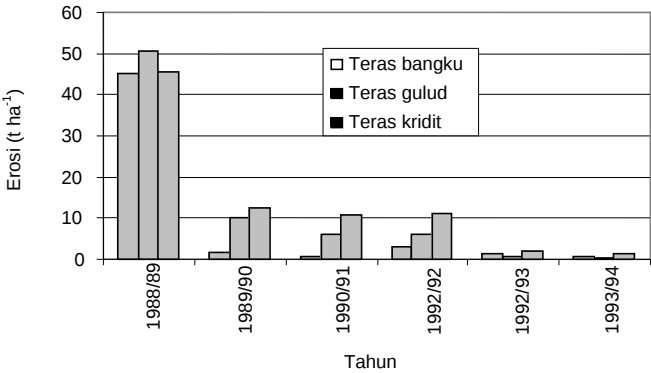
14%; Tropudults	Teras bangku (III)		-	0,00			<i>et al.</i> , 1992
-----------------	--------------------	--	---	------	--	--	-------------------------

*TSL=tolerable soil loss/erosi yang diperbolehkan (dihitung dari Arsyad, 2000); ** sumber data percobaan, I, II, III=tahun pertama, kedua dan ketiga setelah pembangunan teras, ***=rata-rata 6 tahun pengamatan

Tabel 4. Rancangan teknik konservasi tanah mekanik pada pola usaha tani lahan kering (P3HTA, 1990)

Kedalaman tanah	>90 cm		40-90 cm		<40 cm	
Kepekaan erosi	Kurang	Tinggi	Kurang	Tinggi	Kurang	Tinggi
Kemiringan	Macam teras					
%						
<15	B/G	B/G	B/G	B/G	G	G
15-30	B/G	B/G	B/G	G	G	G
30-45	B/G	G	G	G	G/I	I
>45	G/I	I	I	I	I	I

Keterangan: /= atau, B=teras bangku+rumput/legum penguat teras, G=teras gulud+rumput/legum penguat teras, I = teras individu+rumput/legum penutup tanah



Gambar 9. Erosi pada berbagai jenis teras pada tanah Eutropept di Ungaran, Jawa Tengah selama periode 6 tahun (Haryati *et al.*, 1995)

RORAK (CATCH DITCH/SEDIMENT TRAP)

Rorak merupakan tempat/lubang penampungan atau peresapan air, dibuat di bidang olah atau saluran peresapan (Gambar 10). Pembuatan rorak ditujukan untuk memperbesar peresapan air ke dalam tanah dan menampung tanah yang tererosi. Pada lahan kering beriklim kering, rorak berfungsi sebagai pemanen air hujan dan aliran permukaan.

Dimensi rorak yang disarankan sangat bervariasi, seperti yang disarankan oleh Arsyad (2000) adalah dalam 60 cm, lebar 50 cm dengan panjang sekitar 400-500 cm. Panjang rorak dibuat sejajar kontur atau memotong lereng, jarak ke

samping antara satu rorak dengan rorak lain berkisar antara 100-150 cm, sedangkan jarak horizontal berkisar antara 20 m pada lereng yang landai dan agak miring sampai 10 m pada lereng yang lebih curam. Agus *et al.* (1999) menyatakan umumnya rorak berukuran panjang 100-200 cm, lebar 25-50 cm dan dalam 20-30 cm. Rorak yang direkomendasikan Pusat Penelitian Kopi dan Kakao (1998) berukuran panjang 100 cm, lebar 30 cm dan dalam 30 cm. Dimensi rorak yang akan dipilih sebaiknya disesuaikan dengan kapasitas air atau sedimen dan bahan-bahan terangkut lainnya yang akan ditampung.

Rorak merupakan metode konservasi tanah mekanik yang relatif murah dan mudah untuk diterapkan. Biaya pembuatan rorak berkisar antara 10-15 rorak/HOK. Jumlah rorak per ha berkisar antara 150-200 buah. Pemeliharaan rorak harus rutin dilakukan, khususnya apabila rorak telah penuh terisi sedimen atau bahan-bahan lainnya yang masuk ke dalam rorak, misalnya saja serasah tanaman. Pemeliharaan rorak dapat dilakukan dengan menggali rorak yang lama, atau menggali rorak baru di sebelah rorak lama.



Gambar 10. Rorak dalam proses penggalian (kiri) (Foto: K. Subagyono); rorak pada sistem usaha tani berbasis tanaman kopi (kanan) (Foto: F. Agus)

Hal yang harus diperhatikan dalam aplikasi rorak adalah air hanya boleh tergenang beberapa saat. Apabila genangan berlanjut dikhawatirkan akan terjadi masalah, berupa penyakit yang menyerang akar tanaman. Untuk menghindari genangan yang berkepanjangan pada rorak, Brata (2004) menyarankan untuk membuat lubang tambahan pada rorak sampai menembus lapisan yang kedap.

Efektivitas rorak dalam mencegah erosi dan aliran permukaan

Rorak sebanyak 200 buah ha⁻¹ dengan volume rata-rata 1 m³, diperkirakan akan dapat menghambat/menampung aliran permukaan sebanyak $\pm 200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, atau setara dengan 20 mm hujan. Jumlah aliran permukaan yang dapat dikendalikan akan lebih besar lagi jika infiltrasi, penguapan, dan sebagainya turut diperhitungkan.

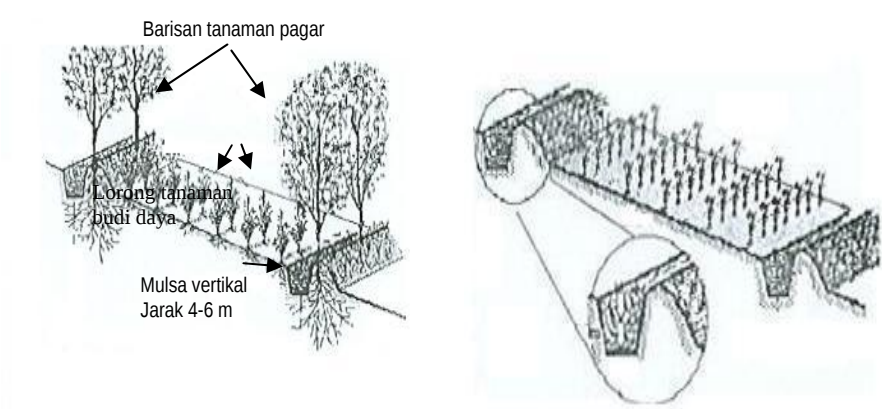
Beberapa hasil penelitian menunjukkan rorak sangat efektif dalam mengendalikan erosi dan aliran permukaan. Rorak yang dikombinasikan dengan mulsa vertikal mampu mengurangi erosi sampai 94% dari erosi pada petak tanpa teknik konservasi tanah. Teknik tersebut juga merupakan suatu cara pemanenan air yang tergolong efektif, khususnya pada lahan agak curam (10-25%), salah satu diantaranya dicerminkan oleh kemampuannya dalam pemeliharaan lengas tanah (Noeralam, 2002). Oleh karena itu, selain ditujukan untuk pengendalian erosi dan aliran permukaan, rorak juga merupakan salah satu metode panen air.

MULSA VERTIKAL (*SLOT MULCH*)

Teknik budi daya yang telah diperkenalkan untuk lahan kering, kadang-kadang masih belum efektif dalam hal pemanfaatan air hujan sebagai sumber air. Kelebihan air hujan yang belum terinfiltrasi seringkali masih dibiarkan terbuang melalui saluran batas bedengan dan/atau SPA pada teras gulud atau teras bangku. Kelebihan air tersebut jika terkonsentrasi pada satu aliran, berpotensi menggerus tanah. Untuk memaksimalkan peresapan air ke dalam tanah, dapat dilakukan dengan menambahkan sisa tanaman, serasah gulma, pangkasan tanaman penguat ke dalam saluran teras, rorak, atau ke dalam lubang-lubang peresapan air. Teknik ini dikenal sebagai mulsa vertikal/*slotch mulch* (Gambar 11).

Mulsa vertikal juga dapat dikembangkan sebagai alternatif untuk memudahkan pemanfaatan sisa tanaman di lahan pertanian. Pemanfaatan sisa tanaman sebagai mulsa konvensional belum banyak diterapkan, karena beberapa kesulitan yang dialami oleh petani dalam membersihkan sisa tanaman sebelum melakukan pengolahan tanah dan menyebarkannya kembali di antara barisan tanaman. Dengan sistem mulsa vertikal juga dapat dilakukan pengomposan sisa tanaman, serasah gulma dan lain sebagainya secara *insitu* (Brata, 1995a).

Aplikasi mulsa vertikal dapat dilakukan secara bersamaan dengan aplikasi teknik konservasi tanah lainnya, misalnya teras bangku, teras gulud, rorak, *alley cropping* (budi daya lorong), strip rumput, tanaman penutup tanah dan lain sebagainya. Mulsa vertikal juga sangat efektif untuk meningkatkan resapan air di daerah terbangun (pemukiman, perkantoran, dan lain-lain).



Gambar 11. Aplikasi mulsa vertikal pada *alley cropping* (kiri) dan teras gulud (kanan) (Sketsa: S. Marwanto)

Dalam hubungannya dengan perbaiki sifat fisik tanah, salah satu fungsi utama dari mulsa vertikal adalah untuk menyediakan lingkungan yang kondusif bagi terciptanya biofore di dalam tanah (Brata, 2004). Biofore yang diciptakan oleh fauna tanah dan akar tanaman tersebut sangat berperan dalam proses peresapan air ke dalam tanah. Hal ini sangat berguna dalam hubungannya dengan pengendalian aliran permukaan dan erosi tanah. Beberapa hasil penelitian telah menunjukkan efektivitas mulsa vertikal dalam mengendalikan aliran permukaan dan erosi (Tabel 5).

Tabel 5. Efektivitas mulsa vertikal dalam mengendalikan aliran permukaan dan erosi

Perlakuan	Lokasi/tanah/ lereng	Aliran permukaan m ³ ha ⁻¹	Erosi t ha ⁻¹	Sumber
Teras gulud, jarak horizontal 11 m	Darmaga,	381,00 ⁴⁾	0,37 ⁴⁾	Brata, 1995 ^a
Mulsa konvensional ¹⁾	Jabar/	891,00	2,70	
Mulsa vertikal ¹⁾ , jarak antar saluran 11 m ³⁾	Haplotrhox/	291,00	0,21	
Mulsa vertikal ¹⁾ , jarak antar saluran 7,3 m ³⁾	15%	219,00	0,17	
Mulsa vertikal ¹⁾ , jarak antar saluran 5,5 m ³⁾		157,00	0,11	
Mulsa konvensional	Darmaga,	103,83 ⁵⁾	0,23 ⁵⁾	Brata, 1995 ^b
Teras gulud, jarak horizontal 11 m	Jabar/	35,07	0,07	
Teras gulud, jarak horizontal 11 m + cacing tanah ²⁾	Haplotrhox/	15,55	0,03	
Mulsa vertikal ¹⁾ , jarak antar saluran 11 m ³⁾	15%	8,40	0,01	
Mulsa vertikal ¹⁾ , jarak antar saluran 11 m ³⁾ + cacing tanah ²⁾		0,81	0,001	
Kontrol (tanpa teknik konservasi)	Sitiung,	108,00 ⁶⁾	6,57 ⁶⁾	Tala'ohu

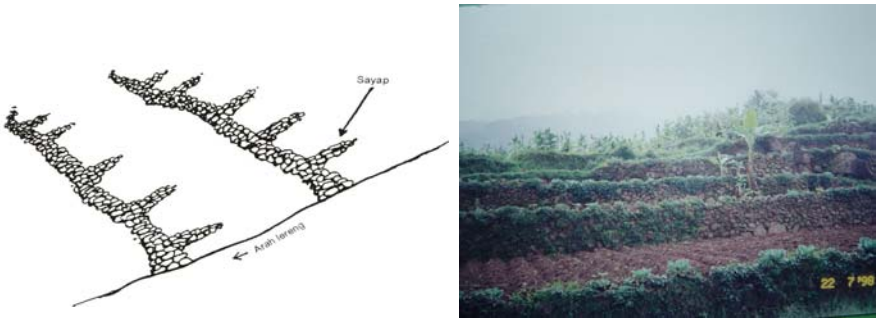
Strip rumput bahia	Sumbar	57,00	1,75	<i>et al.</i> ,
Mulsa vertikal	Tropudults/ 8-18%	39,00	0,81	1992

Keterangan: (1) bahan mulsa yang digunakan jerami padi setara dengan 3 t ha⁻¹; (2) cacing yang diberikan berjumlah 100 ekor, disebarkan merata ke setiap saluran; (3) ukuran saluran teras gulud dan saluran yang diisi mulsa (mulsa vertikal) 25cmx25cmx200cm; (4) pengukuran selama dua musim tanam (jagung dan kacang tanah); (5) satu musim tanam (padi gogo); dan (6) satu musim tanam (padi gogo).

BARISAN BATU

Barisan batu yang dibuat mengikuti kontur dan berfungsi untuk meningkatkan penyerapan air ke dalam tanah dan mengurangi aliran permukaan serta erosi, dapat pula digolongkan sebagai teknik konservasi sipil teknis. Barisan batu dapat diterapkan pada tanah-tanah berbatu, sehingga barisan batu ini juga bisa digunakan untuk memperluas bidang olah. Pada lahan miring, barisan batu dapat menahan tanah yang terbawa aliran permukaan, dan jika tumpukan batu terus ditambah, maka dengan berjalannya waktu, barisan batu dapat membentuk teras (Gambar 12). Salah satu contoh aplikasi teras batu ditemukan di Desa Oelbubuk (DAS Noelminina Hulu, Nusa Tenggara Timur/NTT), petani di desa ini membuat teras bangku dengan jalan menumpuk batu-batuan yang tersebar di permukaan tanah (Sutrisno *et al.*, 1995). Teras batu juga banyak diaplikasikan oleh petani di Selatan Yogyakarta dan Pacitan, serta di daerah Ende, NTT.

Hal yang harus diperhatikan dalam penerapan teknik koservasi tanah ini adalah: (1) batu cukup tersedia; (2) kemiringan lahan 3-25%; dan (3) dilengkapi dengan sayap dari batu dengan panjang 0,5–2 m. Sayap ini akan berfungsi untuk mencegah terlalu banyaknya aliran air yang terkonsentrasi pada satu tempat (Agus dan Widianto, 2004). Efektivitas dari barisan batu dalam mencegah erosi dan menanggulangi aliran permukaan belum banyak diteliti, karena aplikasi teknik ini hanya terbatas pada daerah-daerah yang berbatu.



Gambar 12. Barisan batu dengan sayap pengaman (Sketsa: F. Agus dan Widiyanto), dan barisan batu yang telah membentuk teras (Foto: Sutono)

BEDENGAN

Pada awalnya bedengan dibuat untuk menciptakan media tumbuh yang lebih baik untuk tanaman. Bila bedengan tersebut dibuat dengan mengikuti kaidah-kaidah konservasi tanah, maka bedengan tersebut dapat pula berfungsi untuk menanggulangi aliran permukaan dan erosi.

Bedengan akan efektif sebagai teknik konservasi tanah bila dibuat searah kontur. Namun, di beberapa lokasi khususnya pada areal tanaman sayuran, bedengan justru dibuat searah lereng. Hal ini dimaksudkan petani untuk memperbaiki drainase tanah, padahal dengan dibuatnya bedengan searah lereng, aliran air menjadi kurang terkendali. Oleh karena itu, bila tanaman yang diusahakan tidak terlalu rentan terhadap drainase yang lambat, sebaiknya bedengan dibuat searah kontur (Gambar 13). Namun bila tanaman yang diusahakan sangat peka terhadap drainase yang buruk, maka bedengan dapat dibuat searah lereng, namun setiap jarak tertentu bedengan dipotong oleh bangunan pengendali erosi seperti gulud atau tanaman strip (dibahas lebih mendalam pada Bab 6). Atau dapat pula bedengan dibangun dengan membuat sudut tertentu terhadap kontur (Gambar 14). Sebenarnya bila bedengan-bedengan yang dibuat searah kontur dilengkapi dengan SPA yang baik, efek buruk dari perlambatan drainase tidak akan terjadi.



Gambar 13. Sistem bedengan menurut kontur (Foto: Haryau)



Gambar 14. Bedengan pada pertanaman sayur di Samarang Garut (bedengan membuat sudut terhadap kontur) (Foto: F. Agus)

SALURAN DRAINASE

Tujuan utama dari pembuatan saluran drainase adalah untuk mencegah genangan dan mengalirkan aliran permukaan, sehingga air mengalir dengan kekuatan tidak merusak tanah, tanaman dan/atau bangunan konservasi tanah lainnya. Bentuk saluran drainase permukaan, khususnya pada lahan usaha tani dapat dibedakan menjadi: (a) saluran pengelak; (b) saluran teras; dan (c) saluran pembuangan air, termasuk didalamnya bangunan terjunan. Letak dari masing-masing saluran tersebut ditunjukkan oleh Gambar 15.



Gambar 15. Letak saluran pengelak, saluran pembuangan air, dan saluran teras pada suatu bukit (Sketsa: F. Agus)

Saluran pengelak

Saluran pengelak adalah saluran yang dibuat hampir searah garis kontur (Gambar 15), berfungsi untuk mencegah masuknya aliran permukaan dari bidang lahan di lereng bagian atas ke lahan pertanian, dimana aliran tersebut dapat menyebabkan terjadinya erosi, atau gangguan terhadap komponen-komponen lahan lain, misalnya tanaman, bangunan konservasi dan lain sebagainya. Saluran pengelak perlu juga ditempatkan pada lereng bagian atas dari jurang (*gully*) yang aktif dan lereng atas dari pemukiman/kawasan terbangun (Agus dan Widiyanto, 2004).

Ukuran saluran pengelak ditentukan oleh jumlah aliran permukaan yang akan dialirkan. Faktor yang diperhitungkan dalam menentukan dimensi saluran pengelak diantaranya adalah kemiringan lahan, luas daerah yang dicakup. Saluran pengelak dibuat memotong lereng dengan sedikit membentuk sudut (0,1-0,5%) dengan garis kontur.

Saluran teras

Saluran teras pada teras bangku merupakan saluran yang terletak dekat perpotongan antara bidang olah dan tampingan teras (Gambar 16), sedangkan pada teras gulud terletak tepat di atas guludan. Saluran teras dibuat agar air yang mengalir dari bidang olah dapat dialirkan secara aman ke saluran pembuangan air. Agar aman untuk menyalurkan air, sebaiknya saluran teras diperkuat oleh tanaman rumput seperti *Paspallum conjugatum*.



Gambar 16. Saluran teras pada sistem teras bangku (Fotor: F. Agus)

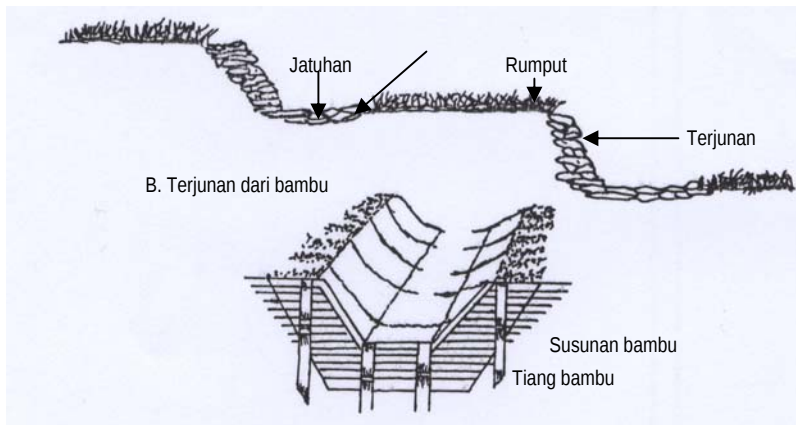
Saluran pembuangan air dan bangunan terjunan (*drop structure*)

Saluran pembuangan air (SPA) merupakan saluran drainase yang dibuat untuk mengalirkan air dari saluran pengelak dan/atau saluran teras ke sungai atau tempat penampungan atau pembuangan air lainnya (Gambar 17). Saluran pembuangan air (SPA) dibuat searah lereng atau berdasarkan cekungan alami. Pada lahan yang kemiringannya $>15\%$, SPA harus dilengkapi dengan bangunan terjunan, yaitu bangunan yang terbuat dari susunan batu atau bambu atau bahan lainnya pada SPA yang berfungsi untuk mengurangi kecepatan aliran air pada SPA (Gambar 17). Menurut Agus dan Widiyanto (2004), bangunan terjunan diperlukan bila kemiringan lahan $>8\%$ atau apabila tanah peka terhadap erosi parit. Pada tanah yang mudah longsor, bangunan terjunan sebaiknya dilengkapi dengan gorong-gorong.



A. Terjunan dari batu

Perangkap
sedimen



Gambar 17. Gambar bangunan terjunan dari batu (Foto: Sutono), penampang terjunan dari batu (A) dan dari bambu (sketsa: F. Agus et al., 1999)

PENUTUP

Masing-masing jenis teknik konservasi tanah mekanik mempunyai kelebihan dan kekurangan, sehingga diperlukan strategi yang tepat dalam penerapannya agar dapat mengoptimalkan kelebihan dan meminimalkan kekurangannya. Tidak semua teknik konservasi tanah mekanik dapat diterapkan untuk semua kondisi lahan, melainkan bersifat spesifik lokasi, dan penerapannya harus disesuaikan dengan agroekosistem setempat. Teknik konservasi tanah mekanik akan lebih efektif dan efisien bila dalam aplikasinya dikombinasikan dengan teknik konservasi tanah vegetatif. Selain itu, dalam menerapkan teknik konservasi ini akan didapatkan nilai tambah yang dapat dijadikan motivasi bagi pengguna (petani).

DAFTAR PUSTAKA

Abdurachman, A., dan S. Sutono. 2002. Teknologi pengendalian erosi lahan berlereng. hlm. 103-145 *dalam* Teknologi Pengelolaan Lahan Kering:

- Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Abdurachman, A., M. Husein Sawit, Ai Dariah, dan Irfan B. Pramono. 1995. Analisis agroekosistem di DAS Cimanuk, Desa Cibugel, Kecamatan Cibugel, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat. hlm. 135-157 *dalam* Prosiding Lokakarya Pembahasan Hasil Penelitian 1994/1995 Analisis Agroekosistem dan Pengelolaan DAS. dan Rencana Penelitian 1995/1996. Cipayung, 15-17 Agustus 1995. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Abujamin, S. dan Suwardjo. 1979. Pengaruh Teras, Sistem Pengelolaan Tanaman dan Sifat-sifat Hujan terhadap Erosi dan Aliran Permukaan pada Tanah Latosol Darmaga. Bagian Konservasi Tanah dan Air. Lembaga Penelitian Tanah. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.
- Agus, F. dan Widiyanto. 2004. Petunjuk Praktis Konservasi Pertanian Lahan Kering. World Agroforestry Centre. ICRAF Southeast Asia.
- Agus, F., A. Abdurachman, A. Rachman, Sidik H.T., A. Dariah, B. R. Prawiradiputra, B. Hafif, dan S. Wiganda. 1999. Teknik Konservasi Tanah dan Air. Sekretariat Tim Pengendali Bantuan Penghijauan dan Reboisasi Pusat. Departemen Kehutanan.
- Agus, F., S. Damanik, A. Syam, T. Hendarto, B. R. Prawiradiputra, dan N. Syafa'at. 1995. Analisis agroekosistem di DAS Cimanuk Hulu: Desa Cintamanik, Kecamatan Sukawening, Kabupaten Garut, Jawa Barat. hlm. 29-57 *dalam* Prosiding Lokakarya Pembahasan Hasil Penelitian 1994/1995 dan Rencana Penelitian 1995/1996: Analisis Agroekosistem dan Pengelolaan DAS. Cipayung 15-17 Agustus 1995. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Arsyad, S. 2000. Pengawetan Tanah dan Air. Departemen Ilmu-Ilmu Tanah. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- Brata, K. R. 1995a. Efektivitas mulsa vertikal sebagai tindakan konservasi tanah dan air pada pertanian lahan kering di Latosol Darmaga. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia* 5 (1): 13-19. Institut Pertanian Bogor.
- Brata, K.R. 1995b. Peningkatan efektivitas mulsa vertikal sebagai tindakan konservasi tanah dan air pada pertanian lahan kering dengan pemanfaatan bantuan cacing tanah. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia* 5 (2): 69-75. Institut Pertanian Bogor.
- Brata, K.R. 2004. Modifikasi Sistem Mikrocatchment untuk Konservasi Tanah dan Air Pada Pertanian Lahan Kering. Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- Haryati, U., Haryono, dan A. Abdurachman. 1995. Pengendalian erosi dan aliran permukaan serta produksi tanaman pangan dengan berbagai teknik

- konservasi pada tanah Typic Eutropept di Ungaran, Jawa Tengah. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk* 13: 40-50.
- Haryati, U., M. Thamrin, dan H. Suwardjo. 1989. Evaluasi beberapa model teras pada Latosol Gunasari, DAS Citanduy. hlm. 187-195 *dalam* Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah: Bidang Konservasi Tanah dan Air. Bogor, 22-24 Agustus 1989. Puslittanak. Bogor.
- LPT (Lembaga Penelitian Tanah). 1977. Pengaruh Macam-macam Teras, Guludan, Strip dan Sifat-sifat Hujan terhadap Erosi pada Tanah Regosol Tanjungharjo. Nomor: 9/1977. LPT. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian. Bogor.
- Mangundikoro, A. 1975. Watershed Management in Indonesia. Proc of The Symposium on Watershed and Conservation for Productive and Protective Uplands in The ASEAN Region. College. Laguna, Phillipines, 25-29 June 1984. ASEAN as Watershed Project College, Laguna, Phillipines.
- Noeralam, A. 2002. Teknik Pemanenan Air yang Efektif dalam Pengelolaan Lengan Tanah pada Usaha tani Lahan Kering. Disertasi Doktor. Program Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor.
- P3HTA (Proyek Penelitian Penyelamatan Hutan, Tanah dan Air). 1990. Petunjuk Teknis Usaha Tani Konservasi Daerah Limpasan Sungai. *Dalam* Sukmana et al. (Eds.). Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.
- Pusat Penelitian Kopi dan Kakao. 1998. Pedoman Teknis Budi Daya Tanaman Kopi (*Coffea sp.*). *Dalam* Nur, A.M. et al. (Eds.). Pusat Penelitian Kopi dan Kakao. Jember.
- Siswomartono, D., A. N. Gintings, K. Sebayong, and S. Sukmana. 1990. Development of Conservation Farming System. Indonesia Country Review. Regional Avtion Learning Programme on The Development of Conservation Farming System. Report of Inaugural Workshop. Chiangmai (Thailand) 23 Feb-1 March 1990. ASOCON Report No.2.
- Sukmana, S. 1996. Teknik konservasi tanah dalam penanggulangan degradasi tanah pertanian lahan kering. hlm. 23-41 *dalam* Prosiding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Buku I. Makalah Kebijakan. Cisarua, Bogor, 26-28 September 1995. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Sutrisno, N., Sudirman, dan A. Mulyadi. 1995. Analisis Agroekosistem di Daerah Aliran Sungai Noelminina Hulu: Desa Oelbubuk, Kecamatan Mollo Selatan, Kabupaten Timor Tengah Selatan, Nusa Tenggara Timur. hlm. 1-28 *dalam* Prosiding Lokakarya Pembahasan Hasil Penelitian 1994/1995 dan Rencana Penelitian 1995/1996. Analisis Agroekosistem dan Pengelolaan

- DAS. Cipayung, 15-17 Agustus 1995. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Tala'ohu, S.H., A. Abdurachman dan H. Suwardjo. 1992. Pengaruh teras bangku, teras gulud, slot mulsa flemingia dan strip rumput terhadap erosi, hasil tanaman dan ketahanan tanah Tropudult di Sitiung. hlm. 79-89 *dalam* Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah: Bidang Konservasi Tanah dan Air. Bogor, 22-24 Agustus 1989. Puslitanak, Bogor.
- Thamrin, M., H. Sembiring, G. Kartono, dan S. Sukmana. 1990. Pengaruh berbagai macam teras dalam pengendalian erosi tanah Tropudalf di Srimulyo, Malang. hlm. 9-17 *dalam* Risalah Pembahasan Hasil Penelitian Pertanian Lahan Kering dan Konservasi Tanah. Tugu-Bogor, 11-13 Januari 1990. P3HTA. Badan Litbang Pertanian. Deptan.
- The Chinese Soil and Water Conservation Society. 1987. Soil Conservation Hand Book. The Chinese Soil and Water Conservation Society.
- Troeh, F.R, J.A. Hobs, and R.L. Donahue. 1991. Soil and Water Conservation. Prentice Hall, Inc. A Division of Simon & Schuster. Engglewood Cliffs, New Jersey.

6. TEKNOLOGI KONSERVASI TANAH PADA BUDI DAYA SAYURAN DATARAN TINGGI

Undang Kurnia, Husein Suganda, Deddy Erfandi, dan Harry Kusnadi

Budi daya sayuran dataran tinggi umumnya dilakukan secara intensif, ditandai dengan keberadaan pertanaman sayuran yang senantiasa ditanam sepanjang tahun, karena ditunjang oleh curah hujan yang cukup dengan penyebaran merata. Berbagai jenis tanaman sayuran dataran tinggi diusahakan pada lahan-lahan kering berlereng di tanah Andisol, Inceptisol, atau Entisol di daerah aliran sungai (DAS) bagian hulu yang secara umum tanah-tanah tersebut peka terhadap erosi.

Dalam budi daya sayuran dataran tinggi, petani umumnya tidak menerapkan teknik konservasi tanah untuk mengendalikan erosi, padahal lahan sayuran terletak pada topografi dengan bentuk wilayah bergelombang, berbukit sampai bergunung, sehingga tanahnya akan sangat mudah tererosi. Indikasi terjadinya erosi pada lahan sayuran dataran tinggi adalah besarnya kandungan sedimen tanah dalam air sungai yang senantiasa keruh sepanjang tahun, seperti Sungai Serayu, Citanduy, Citarum, dan lain-lain (Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan, 1995).

Pengelolaan lahan pada budi daya sayuran dataran tinggi umumnya sederhana dan bersifat tradisional, dicirikan oleh penggunaan benih atau bibit yang kurang bermutu menyebabkan produktivitasnya terus menurun. Beberapa komoditas sayuran dataran tinggi pada tahun 2002 menunjukkan hasil kentang mencapai 14,9 t ha⁻¹, kubis 20,9 t ha⁻¹, dan wortel 15,5 t ha⁻¹ (Badan Pusat Statistik, 2002) lebih rendah dibandingkan dengan hasil tahun 1998, yaitu kentang masih 16,6 t ha⁻¹, kubis 22,1 t ha⁻¹, dan wortel 15,9 t ha⁻¹ (Biro Pusat Statistik, 1998). Penyebab lain menurunnya produktivitas sayuran adalah akibat para petani tidak menerapkan teknik konservasi tanah dalam usaha taninya, sehingga tanah yang hilang dari lahan budi daya cukup besar (Sutapraja dan Asandhi, 1998; Erfandi et al., 2002).

Dalam budi daya sayuran, baik yang dilakukan di dataran rendah maupun di dataran tinggi, petani melaksanakan usaha taninya dalam bedengan atau guludan selebar 0,7-1,2 m. Bedengan atau guludan (*raised bed*) dibuat untuk lebih memudahkan pelaksanaan penanaman, pemeliharaan, dan panen. Selain itu, untuk menjaga kondisi aerasi tanah agar tetap baik, di antara bedengan atau guludan biasanya dibuat parit atau saluran drainase. Pada lahan kering berlereng di dataran tinggi, bedengan atau guludan umumnya dibuat tidak mengikuti kaidah-kaidah konservasi tanah yang baik dan benar. Bedengan atau guludan dibuat memanjang searah lereng, sehingga tanah di dalam bedengan atau guludan

tersebut mengalami erosi pada saat hujan, dan terjadi peningkatan jumlah aliran permukaan, yang pada akhirnya akan meningkatkan debit sungai dengan kandungan lumpur yang tinggi. Kondisi seperti ini akan mempercepat hilangnya tanah lapisan atas yang subur, dan pada akhirnya terjadi kerusakan tanah akibat lahannya digunakan untuk budi daya sayuran secara terus-menerus. Sebagai contoh, dataran tinggi Dieng yang terletak di wilayah Kabupaten Banjarnegara adalah bagian hulu DAS Serayu, dan merupakan sentra produksi sayuran dataran tinggi Jawa Tengah, sungai tersebut mempunyai debit bervariasi dari 19-113 l detik⁻¹ (Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan, 1996), mengindikasikan telah terjadi kerusakan ekosistem lahan sayuran.

Beberapa penyebab tidak dijumpainya teknik konservasi tanah pada budi daya sayuran dataran tinggi erat kaitannya dengan permasalahan teknis maupun sosial di lingkungan masyarakat petani sayuran. Mereka cukup mengerti bahwa tanpa teknik konservasi tanah, banyak tanah yang hanyut tererosi dari lahan usaha taninya. Selain jenis-jenis tanaman sayuran umumnya berumur pendek, penerapan teknik konservasi tanah dianggap membutuhkan waktu yang cukup lama sampai cara tersebut dapat bekerja efektif. Para petani sayuran umumnya enggan menerapkan teknik konservasi tanah karena tidak segera memberikan keuntungan langsung bagi mereka. Mereka cukup membuat bedengan-bedengan selebar 0,7-1,2 m yang dibuat searah lereng. Oleh sebab itu, penerapan teknik konservasi tanah pada lahan sayuran dataran tinggi dibahas khusus dengan mempertimbangkan teknologi petani dan hasil penelitian.

IKLIM DAN KONDISI LAHAN DI DAERAH SAYURAN

Sentra produksi sayuran dataran tinggi umumnya terletak pada ketinggian 700-2.500 m di atas permukaan laut (dpl), dengan suhu udara rata-rata relatif sejuk (sekitar 22 °C) sampai dingin. Suhu udara rata-rata di beberapa sentra produksi sayuran dataran tinggi di Jawa Barat berkisar antara 18,1 dan 19,9 °C (Gunadi, 1998). Suhu udara rata-rata di bawah 22 °C merupakan kondisi ideal untuk pertumbuhan tanaman sayuran dataran tinggi.

Curah hujan di daerah sayuran dataran tinggi berkisar antara 2.500 dan 4.000 mm tahun⁻¹, seperti di dataran tinggi Campaka, dan Pacet, Kabupaten Cianjur-Jawa Barat berturut-turut 2.898 dan 3.063 mm tahun⁻¹. Curah hujan di dataran tinggi Dieng yang masuk wilayah Kabupaten Wonosobo-Jawa Tengah adalah 3.917 mm tahun⁻¹, sedangkan di Tawangmangu, Kabupaten Karanganyar-Jawa Tengah sekitar 3.329 mm tahun⁻¹ (Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, 2003). Curah hujan yang tinggi ditambah dengan intensitasnya yang tinggi merupakan penyebab utama tingginya laju erosi, dan penurunan produktivitas

tanah di daerah tersebut, terlebih lagi budi daya dilakukan pada lahan berlereng tanpa melakukan pencegahan erosi.

Daerah-daerah sayuran dataran tinggi secara umum berada dalam wilayah pengaruh aktivitas gunung berapi, baik yang masih aktif maupun tidak. Jenis-jenis tanah utama yang umum dijumpai adalah Andisol dan Entisol, biasa dijumpai pada ketinggian di atas 1.000 m dpl, serta Inceptisol pada ketinggian 700-1.000 m dpl. Sifat-sifat fisik tanah umumnya baik, yaitu struktur tanah remah/gembur (*friable*) sampai lepas (*loose*) dengan kedalaman tanah (*solum*) dalam, drainase baik dan porositas tinggi. Kesuburan tanah pada lahan sayuran dataran tinggi lebih baik dari jenis tanah mineral lainnya, dan tergolong tinggi. Hal tersebut disebabkan karena tanahnya terbentuk dari bahan vulkan dengan bahan organik dan kandungan fosfor tinggi, dan secara umum kapasitas tukar kation (KTK) tanah Andisol biasanya tinggi ditandai dengan nilai C-organik yang tinggi (Tabel 1).

Tabel 1. Sifat-sifat fisik dan kimia beberapa tanah dataran tinggi di Jawa Barat

Sifat-sifat tanah	Hydric Dystrandepts Segunung – Jabar	Ultic Hapludands Batulawang - Jabar	Typic Melanudands Pangalengan - Jabar
Sifat fisik			
Berat isi (g cm ⁻³)	0,85	0,80	0,70
Porositas (% vol)	-	62,1	68,5
Pasir (%)	44	23	27
Debu (%)	37	48	54
Liat (%)	19	29	19
Sifat kimia			
C-organik (%)	5,72	4,2	8,2
N-total (%)	0,68	0,4	0,5
P ₂ O ₅ (mg 100 g ⁻¹)	242	173	-
KTK (me 100 g ⁻¹)	-	-	-

Sumber: Undang Kurnia et al., 2000.

Tanah-tanah di daerah sayuran dataran tinggi, khususnya Andisol mempunyai sifat tiksotropik (tanah licin dan berair bila dipirid), mengindikasikan tekstur tanahnya mengandung fraksi debu lebih banyak dibandingkan dengan tanah mineral lainnya. Tanah dengan kandungan debu tinggi mempunyai kepekaan terhadap erosi lebih tinggi, atau rentan terhadap erosi (Morgan, 1979). Oleh sebab itu, meskipun tanah-tanah di daerah sayuran dataran tinggi umumnya mempunyai sifat-sifat fisik tanah yang baik, dengan posisi lahan yang umumnya terletak pada topografi berlereng dengan curah hujan tinggi, tanahnya tergolong rentan terhadap erosi dan mudah mengalami kerusakan.

Sungai-sungai yang ada di daerah sayuran dataran tinggi merupakan bagian

hulu dari DAS, bertebing curam, dan dasarnya berbatu-batu. Aliran sungai biasanya deras, karena perbedaan tinggi antara bagian hulu dan hilir sungai cukup besar. Akibat perbedaan tinggi sungai seperti itu, kemungkinan terjadinya pengendapan (sedimentasi) pada badan sungai sangat kecil. Namun, karena aktivitas budi daya sayuran di bagian hulu DAS sangat intensif dan tanahnya peka erosi, maka sungai-sungai tersebut ikut berperan mengalirkan air aliran permukaan yang mengandung sedimen tanah yang tinggi ke dalam sungai yang lebih besar di bagian hilir DAS. Aktivitas budi daya sayuran yang sangat intensif berpengaruh tidak baik terhadap lahan pertanian, yaitu menurunnya tingkat kesuburan tanah akibat terkikisnya tanah lapisan atas, dan terjadinya pemadatan permukaan tanah yang dapat meningkatkan volume aliran permukaan akibat menurunnya laju infiltrasi. Kondisi seperti ini akan memperbesar konsentrasi sedimen dalam aliran permukaan.

KONDISI BUDI DAYA SAYURAN SAAT INI

Jenis-jenis sayuran yang memiliki nilai jual yang lebih baik biasanya ditanam dalam pola tanam monokultur dan ada juga dalam pola tanam campuran. Pola tanam campuran biasa dilakukan untuk mengurangi risiko kegagalan salah satu komoditas sayuran, baik kegagalan secara agronomis maupun ekonomis. Sama seperti budi daya bawang merah (*Alium sativum*) di dataran rendah, yang banyak terdapat di Kabupaten Brebes, Tegal, dan Cirebon, berbagai jenis tanaman sayuran dataran tinggi ditanam dalam bedengan atau guludan. Bedengan atau guludan dipisahkan oleh saluran air atau parit drainase yang berguna untuk mengalirkan kelebihan air dan untuk memudahkan penanaman, pemeliharaan, dan panen. Berikut disajikan teknik budi daya sayuran yang dilakukan dalam berbagai macam bedengan oleh petani sayuran dataran tinggi di Indonesia.

Bedengan searah lereng

Bedengan adalah gundukan tanah yang sengaja dibuat oleh petani untuk menanam tanaman sayuran dengan lebar dan tinggi tertentu, dan di antara dua bedengan dipisahkan oleh saluran atau parit drainase yang berguna untuk mengalirkan air agar aerasi tanah atau kelembapan tanah dalam bedengan tetap terjaga. Umumnya, para petani membuat bedengan atau guludan selebar 70 sampai 120 cm atau lebih, dan tinggi 20-30 cm, dengan panjang bervariasi mengikuti arah lereng. Bedengan yang dibuat panjang searah lereng akan memperbesar erosi dan penghanyutan hara, karena tanah di dalam bedengan akan mengalami pengikisan dan penghanyutan oleh aliran permukaan pada saat hujan, sehingga akan menurunkan tingkat kesuburan dan produktivitas tanahnya.

Kebiasaan menanam sayuran dalam bedengan atau guludan dapat dijumpai di hampir seluruh sentra produksi sayuran di Indonesia. Berdasarkan pengamatan pada lahan sayuran bukaan baru di kawasan kawah Drajat, Kabupaten Garut, Campaka, Kabupaten Cianjur, dan di sentra produksi sayuran di dataran tinggi Dieng, kabupaten Banjarnegara dan Wonosobo, petani umumnya berusaha tani sayuran pada bedengan-bedengan dengan kemiringan lahan di atas 30% tanpa upaya-upaya melestarikan lahan atau mengendalikan erosi. Bedengan dibuat searah dan sepanjang lereng tanpa upaya memperpendek atau memotong panjang lereng. Kebiasaan menanam sayuran seperti itu bertujuan untuk menciptakan kondisi aerasi atau drainase dan kelembapan tanah tetap baik. Menurut Suzui (1984), dan Sumarna dan Kusandriani (1992), kondisi aerasi tanah yang jelek dapat membahayakan pertumbuhan tanaman sayuran.

Bedengan diagonal terhadap lereng

Sebagian petani sayuran di wilayah perbukitan Campaka, Kabupaten Cianjur, Samarang, Kabupaten Garut, dataran tinggi Bromo, Kabupaten Probolinggo, dan dataran tinggi Alahan Panjang, Kabupaten Solok melakukan budi daya sayuran dalam bedengan-bedengan yang dibuat 45° (diagonal) terhadap kontur (Fujimoto dan Mijaura, 1996; dan Natsuaki, 1996). Cara tersebut, merupakan salah satu upaya petani untuk menekan laju erosi, namun tetap menyediakan kondisi aerasi tanah yang baik. Akan tetapi, laju erosi pada lahan sayuran dengan teknik bedengan yang dimodifikasi tersebut ternyata masih cukup tinggi, karena volume air dan laju aliran permukaan yang mengalir di dalam saluran di antara bedengan masih besar dan tinggi untuk mengikis dinding-dinding bedengan dan dasar saluran di antara bedengan, sehingga masih banyak tanah yang tererosi.

Petani sayuran dataran tinggi umumnya menggunakan pupuk anorganik dan pupuk organik dalam takaran lebih tinggi dari takaran anjuran, sehingga dengan kondisi ekosistem lahan sayuran yang rentan terhadap erosi, diperkirakan banyak unsur-unsur hara dari pupuk tersebut hilang terbawa aliran permukaan dan erosi. Upaya pemupukan akhirnya menjadi tidak efisien, sehingga diperlukan tindakan pencegahan erosi dan kehilangan unsur-unsur hara dari daerah perakaran tanaman, agar tercipta sistem usaha tani sayuran yang berkelanjutan.

Bedengan dan mulsa plastik

Akhir-akhir ini banyak dijumpai usaha tani sayuran, terutama cabai dan tomat yang ditanam dalam bedengan searah lereng dengan permukaan tanah dalam bedengan ditutupi plastik, biasanya berwarna hitam. Cara tersebut banyak

keuntungannya, diantaranya dapat mengatasi masalah penggunaan tenaga kerja untuk penyiangan karena gulma tidak mampu tumbuh di bawah plastik, kelembapan tanah tetap terjaga, dan tidak terjadi pengikisan atau penghancuran permukaan tanah, sehingga tidak ada erosi. Namun demikian, cara tersebut masih dianggap penyebab kerusakan lahan dan lingkungan, karena bila terjadi hujan, seluruh air hujan yang jatuh di atas permukaan tanah akan terkonsentrasi di dalam saluran atau parit drainase, kemudian mengalir sebagai aliran permukaan, yang pada akhirnya masuk ke dalam sungai yang menambah debit dan dapat menyebabkan banjir. Selain itu, meskipun permukaan tanah dalam bedengan ditutupi plastik, permukaan tanah pada dasar saluran atau parit drainase tetap terbuka, masih mungkin mengalami pengikisan dan tanah tererosi. Bedengan yang permukaan tanahnya ditutupi plastik, umumnya juga searah lereng, sehingga laju erosi dalam saluran drainase di antara bedengan juga tetap tinggi.

Penggunaan mulsa plastik banyak dilakukan petani sayuran, terutama bagi yang mempunyai modal cukup, karena untuk maksud tersebut diperlukan biaya untuk penyediaan plastik, terutama pada saat harga sayuran khususnya cabai besar, paprika, dan tomat mempunyai nilai jual yang bagus. Cara tersebut dapat mengkompensasi pengeluaran usaha tani, karena biaya pemeliharaan dan penyiangan lebih rendah.

Bedengan dalam teras bangku

Di beberapa sentra produksi sayuran seperti di dataran tinggi Dieng (Jawa Tengah) dan di Pangalengan, Bandung (Jawa Barat) dijumpai usaha tani sayuran pada teras bangku, namun tanpa upaya menstabilkan teras tersebut, sehingga pada bibir dan tampingan teras cenderung mengalami longsor. Pada umumnya petani di daerah tersebut membuat bedengan atau guludan searah lereng pada bidang-bidang teras bangku. Namun, sangat disayangkan bahwa teras bangku tersebut umumnya miring keluar (Gambar 1 dan 2), sehingga erosi atau longsor masih mungkin terjadi. Selain itu, pada bagian ujung luar teras (talud) tidak ditanami tanaman penguat teras, dan permukaan tanah pada tampingan teras juga terbuka atau bersih tidak ada tanaman.



Gambar 1. Bedengan searah lereng untuk persiapan tanaman kentang pada teras bangku miring keluar (Foto: Undang Kurnia)



Gambar 2. Pertanaman sayuran pada bedengan searah lereng dalam teras bangku miring keluar (Foto: Undang Kurnia)

Berdasarkan pengalaman dan wawancara dengan petani, terdapat dua hal pokok yang menyebabkan petani tidak menerapkan teknik konservasi tanah pada lahan usaha taninya. Pertama, bedengan atau guludan yang dibuat memotong lereng atau searah kontur, sulit dan berat dalam mengerjakannya, serta memerlukan waktu lebih lama. Kedua, bedengan atau guludan searah kontur dianggap dapat menyebabkan terjadinya genangan air setelah hujan pada saluran-saluran di antara bedengan atau antar guludan, walaupun untuk sementara waktu. Dalam kondisi demikian masih mungkin terjadi rembesan air secara horizontal ke dalam tanah di dalam bedengan, sehingga kadar air atau

kelembapan tanah di dalam bedengan meningkat, sehingga drainase tanah memburuk. Keadaan seperti itu merupakan media yang baik bagi berjangkit dan berkembangnya penyakit tanaman, terutama cendawan atau jamur yang dapat menyebabkan busuk akar atau umbi (Sutapraja dan Ashandi, 1998).

Teknik konservasi tanah lain

Meskipun tidak banyak dijumpai, di beberapa lokasi seperti di Samarang dan Cikajang, Garut (Jawa Barat), di sekeliling lahan sayuran dibatasi oleh tanaman pohon-pohonan atau tanaman tahunan, seperti mangga, nangka, alpokat, jambu mete, kayu Afrika, nanas, dan lain-lain, yang dapat berfungsi sebagai teknik konservasi tanah, walau sebenarnya tanaman-tanaman tersebut merupakan pagar hidup untuk melindungi lahan usaha tani dari gangguan ternak atau manusia. Akan tetapi, cara tersebut dapat menyebabkan lahan sayuran ternaungi, sehingga dapat mengurangi produktivitas tanaman sayuran.

Hal lain yang dijumpai di lapangan adalah antara bidang lahan sayuran yang satu dengan bidang lahan sayuran lainnya tidak dalam satu garis kontur. Kondisi seperti ini dapat memicu terjadinya longsor akibat gerusan-gerusan tanah di antara dua bidang lahan oleh konsentrasi aliran permukaan yang mengalir dalam pola aliran tidak teratur. Oleh sebab itu, pengaturan aliran air permukaan di daerah sayuran dataran tinggi harus dijadikan prioritas dengan membuat saluran-saluran pembuang air (SPA) di antara dua bidang lahan usaha tani, dan mengarahkannya ke sistem drainase alami atau sungai yang ada di daerah sayuran tersebut. Saluran pembuang air (SPA) atau saluran drainase yang diperkuat dengan rumput teki (*Paspalum notatum*), baik pada dasar saluran maupun sepanjang kanan dan kiri dinding saluran agar tidak terjadi penggerusan terhadap tanahnya.

PENELITIAN KONSERVASI TANAH

Penelitian penerapan teknik konservasi tanah

Penelitian penerapan teknik konservasi tanah pada lahan sayuran dataran tinggi masih terbatas, dan belum banyak yang melakukannya. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat telah melakukan penelitian penerapan teknik konservasi tanah pada lahan sayuran dataran tinggi, dengan tetap memperhatikan teknologi yang dipunyai dan telah dipraktekkan petani. Penelitian difokuskan pada penerapan bedengan dengan penyempurnaan dalam beberapa segi, dengan tujuan agar teknologi yang dihasilkan nantinya dapat diterima petani,

karena pada dasarnya merupakan pengembangan teknologi mereka sendiri. Keputusan melakukan penelitian tersebut didasarkan pada kenyataan bahwa cukup sulit menerapkan teknik konservasi tanah pada masyarakat petani sayuran. Pada kenyataannya di lapangan, diketahui budi daya sayuran dataran tinggi dilakukan dalam bedengan-bedengan searah lereng. Oleh sebab itu, perlu dicari dimensi atau ukuran bedengan yang sesuai dengan agroekosistem dataran tinggi tanpa mengabaikan kebiasaan petani, namun aliran permukaan dan erosi dapat dikendalikan sampai batas yang aman dan tidak menurunkan produktivitas tanah.

Penelitian penerapan teknik konservasi tanah pada lahan sayuran dataran tinggi seperti yang diuraikan tersebut dimulai sejak tahun 1996 oleh Suganda *et al.* (1997), Sutapraja dan Ashandi (1998), Haryati *et al.* (2001), dan Erfandi *et al.* (2002). Teknik konservasi tanah yang diteliti pada dasarnya adalah bedengan yang biasa dibuat petani, namun dilakukan beberapa perbaikan. Suganda *et al.* (1997) meneliti penerapan bedengan tersebut di Desa Batulawang, Kecamatan Pacet, dan Desa Sukaresmi, Kecamatan Sukaresmi, kedua-duanya terletak di daerah Cipanas, Kabupaten Cianjur. Teknik konservasi tanah tersebut diantaranya adalah bedengan searah lereng dan setiap panjang tertentu dipotong teras gulud, dan bedengan yang dibuat searah kontur.

Sutapraja dan Ashandi (1998) meneliti bedengan yang dibuat diagonal (45°) terhadap kontur, bedengan searah kontur, pola tanam, dan penggunaan beberapa macam mulsa, yang dilaksanakan di Kecamatan Batur, Kabupaten Banjarnegara. Sedangkan Haryati *et al.* (2001) melakukan penelitian penerapan teknik konservasi tanah di Desa Pekasiran, Kecamatan Batur, Banjarnegara, dan Erfandi *et al.* (2002) melakukannya di Kecamatan Campaka, Kabupaten Cianjur, yaitu memantapkan hasil penelitian Suganda *et al.* (1997) yang dianggap cukup baik mengendalikan erosi, dengan sedikit modifikasi pada bidang teras gulud dan tampungan teras bangku miring (teknologi petani). Modifikasi tersebut adalah penggunaan tanaman penguat teras yang ditanam pada bibir teras (talud) dan tampungan teras, dan penggunaan tanaman yang menghasilkan nilai jual lebih baik (*cash crops*) yang ditanam pada bidang teras gulud. Dalam bidang teras gulud dapat ditanam 2 baris tanaman cabe, katuk atau kacang panjang, dan lain-lain yang berumur pendek dan cepat dipanen, sehingga petani memperoleh uang lebih awal dari tanaman pokok.

Penelitian penerapan teknik konservasi tanah yang dilakukan Ashandi dan Sutapraja (1998) dari Balai Penelitian Tanaman Sayuran Lembang, Bandung, dan yang dilakukan oleh peneliti dari Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor (Suganda *et al.*, 1997; Haryati *et al.*, 2001; dan Erfandi *et al.*, 2002) kesemuanya ditujukan untuk pengendalian erosi, dan aliran permukaan, serta peningkatan produktivitas tanah dan tanaman.

Dimensi atau ukuran bedengan, baik panjang, dan lebar maupun tinggi

bervariasi. Suganda *et al.* (1997) membuat bedengan dengan panjang 4,5 m searah lereng, lebar 1,2-2,0 m, dan tinggi 0,10-0,20 m. Di bagian ujung bawah bedengan dibuat teras gulud memotong lereng, dengan ukuran lebar dan tinggi teras 0,30 m. Haryati *et al.* (2001), dan Erfandi *et al.* (2002) sedikit memodifikasi panjang bedengan yang dibuat searah lereng, yaitu 5 m, lebar 1,4 m, dan tinggi 0,20 m, karena tujuannya adalah memperbaiki hasil penelitian yang diperoleh Suganda *et al.* (1997). Di bagian ujung bawah bedengan juga dipotong teras gulud dengan ukuran lebar dan tinggi 0,30 m. Jarak antara dua bedengan umumnya 0,20-0,30 m.

Penelitian pencegahan erosi

Penelitian penerapan teknik konservasi tanah pada lahan sayuran dataran tinggi dengan tujuan untuk mencegah erosi menunjukkan hasil yang memuaskan. Suganda *et al.* (1997), Haryati *et al.* (2001), dan Erfandi *et al.* (2002) mendapatkan bahwa bedengan yang dibuat searah lereng dan setiap 4,5-5,0 m dipotong teras gulud mampu mengurangi jumlah tanah yang tererosi. Jumlah erosi selama pertanaman buncis dan kubis pada tanah Hapludands Pacet, Cianjur berlereng 9-22% berkurang 28-38% dibandingkan dengan jumlah erosi pada bedengan searah lereng (Tabel 2). Hasil penelitian tersebut menunjukkan jumlah erosi pada bedengan searah lereng dengan panjang 10 m adalah 2,5 kali lebih banyak dibandingkan dengan jumlah erosi pada bedengan dengan panjang 4,5 m searah lereng dipotong teras gulud pada ujung bawah bedengan. Oleh sebab itu, meskipun bedengan dibuat searah lereng, panjangnya tidak melebihi 4,5 m, dan pada bagian bawah bedengan harus dipotong dengan membuat teras gulud (*ridge terrace*), atau teknik konservasi tanah lain, seperti strip rumput dan tanaman pagar, agar laju aliran permukaan dan erosi dapat dihambat. Selain itu, pada bidang teras gulud, sebaiknya ditanami dengan tanaman yang bermanfaat dan mempunyai nilai jual cukup baik, sebagai substitusi kehilangan lahan yang digunakan untuk teras gulud, meskipun kedua jenis tanaman tersebut tidak berpengaruh dalam mengurangi laju aliran permukaan dan erosi.

Tabel 2. Jumlah erosi pada lahan pertanaman sayuran berlereng 20% pada berbagai cara konservasi tanah di tanah Andisol Batulawang, Cipanas

Perlakuan konservasi tanah	Jumlah tanah tererosi		
	Buncis	Kubis	Jumlah
	t ha ⁻¹		
Bedengan searah lereng, panjang 10 m	76,95	23,60	100,55
Bedengan searah lereng, setiap 4,5 m dibuat teras gulud memotong lereng, ditanami katuk	23,90	16,30	40,20
Bedengan searah lereng, setiap 4,5 m dibuat teras gulud	27,70	18,90	46,60

memotong lereng, ditanami cabai			
Bedengan searah kontur	28,60	11,90	40,50

Sumber: Suganda et al. (1997)

Hasil penelitian serupa yang dilakukan Erfandi et al. (2002) pada tanah Andic Eutrudepts di Campaka, Kabupaten Cianjur menunjukkan bahwa bedengan dengan panjang 5 m searah lereng yang dipotong teras gulud, dan bedengan yang dibuat searah kontur mampu mengurangi jumlah aliran permukaan dan erosi sangat nyata. Dibandingkan dengan bedengan searah lereng, besarnya erosi di daerah tersebut berkurang berturut turut 50-70% pada bedengan 5 m searah lereng, dan 90-95% pada bedengan searah kontur (Tabel 3). Selain itu, sifat-sifat fisik tanah pada kedua bedengan tersebut membaik (Tabel 4), yaitu, berat isi tanah pada bedengan panjang 5 m searah lereng dan bedengan searah kontur lebih rendah dibandingkan dengan berat isi tanah pada bedengan lainnya. Demikian juga pori aerasi dan pori air tersedia pada kedua macam bedengan tersebut lebih baik.

Tabel 3. Pengaruh bedengan terhadap aliran permukaan dan erosi pada dua musim tanam di Desa Campaka, Kecamatan Campaka, Kabupaten Cianjur

Perlakuan konservasi tanah	MT 1999		MT 2000	
	Aliran permukaan	Erosi	Aliran permukaan	Erosi
	m ³ ha ⁻¹	t ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	t ha ⁻¹
Tanah terbuka	625,18d	143,45b	554,08c	133,46c
Bedengan searah lereng	374,24c	39,65a	284,76b	41,59b
Bedengan 5 m searah lereng	176,75b	20,20a	105,58a	10,60a
Bedengan searah kontur	78,29a	3,55a	47,26a	2,31a

Sumber: Erfandi et al., 2002

Tabel 4. Sifat-sifat fisik tanah pada beberapa cara konservasi tanah pada lahan sayuran dataran tinggi di Desa Campaka, Kecamatan Campaka, Kabupaten Cianjur

	MT 1999	MT 2000
--	---------	---------

Perlakuan konservasi tanah	Berat	Pori	Air	Berat	Pori	Air
	isi	aerasi	tersedia	isi	aerasi	tersedia
	g cm ⁻³	——% vol——		g cm ⁻³	——% vol——	
Tanah terbuka	0,69b	30,9a	12,4a	0,71b	29,7a	12,1a
Bedengan searah lereng	0,65a	32,9a	14,3ab	0,67a	32,5ab	12,8a
Bedengan 5 m searah lereng	0,65a	36,1b	16,1b	0,68a	35,2ab	14,7b
Bedengan searah kontur	0,67a	37,5b	19,5c	0,68a	36,2b	18,5c

Sumber: Erfandi *et al.*, 2002

Sementara itu, penelitian Sutapraja dan Asandhi (1998) di Kecamatan Batur, Banjarnegara, memperlihatkan bahwa guludan atau bedengan yang dibuat diagonal terhadap kontur masih menyebabkan erosi dua kali lebih besar dibandingkan dengan erosi pada guludan searah kontur (Tabel 5). Dari hasil penelitian tersebut juga diperoleh informasi bahwa pola tanam dan pemberian mulsa mampu mengendalikan erosi dibandingkan dengan guludan diagonal terhadap kontur. Namun, jumlah erosi tersebut masih cukup besar dan terjadi dalam waktu 4 bulan saja, sehingga bila terjadi dalam waktu yang lebih lama, misalnya satu tahun, maka kehilangan tanah akibat erosi diperkirakan akan lebih besar lagi. Hasil penelitian tersebut membuktikan bahwa teknik konservasi tanah dengan membuat bedengan atau guludan searah kontur mempunyai kemampuan mengurangi erosi cukup berarti, mencapai sekitar 32 t ha⁻¹. Namun, untuk kasus tersebut dengan jumlah erosi yang masih melebihi batas erosi yang masih dapat diabaikan, maka penerapan bedengan atau guludan harus disertai dengan teknik konservasi tanah lain yang murah, namun efektif mengendalikan erosi.

Tabel 5. Jumlah erosi pada lahan pertanaman kentang dengan berbagai teknik konservasi tanah dan pola tanam di Kecamatan Batur, Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah selama bulan September-Desember 1996

Perlakuan konservasi tanah	Jumlah erosi	
	kg 24 m ⁻²	t ha ⁻¹

Arah bedengan		
- sejajar kontur	76,95	32,06
- diagonal terhadap kontur	164,72	68,63
Pola tanam dan mulsa		
- monokultur kentang + mulsa jerami	128,44	53,52
- monokultur kentang + mulsa plastik perak	133,85	55,77
- tumpang sari kentang dan bawang daun	118,75	49,48

Sumber: Sutapraja dan Asandhi (1998).

Stabilisasi tanah sangat diperlukan, terutama pada lahan sayuran yang berada dalam bidang teras bangku miring keluar dengan kemiringan 3-8% seperti yang dijumpai di sebagian wilayah dataran tinggi Dieng, Kabupaten Banjarnegara. Hal ini disebabkan karena struktur tanah di lahan sayuran dataran tinggi Dieng umumnya gembur (*friable*) sampai lepas (*loose*), sehingga mudah tererosi, dan bibir dan dinding atau tampingan teras mudah longsor. Untuk menstabilkan tanah tersebut, maka bibir dan tampingan teras perlu ditanami rumput atau tanaman penguat teras, seperti rumput teki (*Paspalum notatum*), akar wangi (*Vetiveria zizanoides*), hahapaan (*Flemingia congesta*), dan lain-lain. Penelitian semacam itu pernah dilakukan di dua tempat yang berbeda di dataran tinggi Dieng, tepatnya di Desa Pekasiran, Kecamatan Batur oleh Haryati *et al.* (2001), dan Juarsah *et al.* (2002). Beberapa jenis tanaman penguat teras seperti rumput teki (*Paspalum notatum*), dan akar wangi (*Vetiveria zizanoides*) mempunyai daya adaptasi yang baik dan mampu menstabilkan bibir dan tampingan teras di lahan sayuran dataran tinggi.

Penelitian kehilangan hara

Teknik konservasi tanah mampu mengurangi jumlah hara yang hilang dari suatu lahan pertanian (Sinukaban, 1990; Undang Kurnia, 1996). Dalam sedimen tanah yang terbawa aliran permukaan terdapat sejumlah unsur hara yang sangat berguna untuk pertumbuhan tanaman. Demikian juga halnya, di dalam budi daya sayuran dataran tinggi terjadi hal serupa, yaitu teknik konservasi tanah mampu mengurangi jumlah hara yang hilang terbawa erosi. Hasil penelitian Suganda *et al.* (1997) menunjukkan, bahwa kehilangan hara dari dalam tanah pada bedengan searah lereng dengan panjang 10 m lebih besar dibandingkan dengan kehilangan hara dari bedengan panjang 4,5 m dan dipotong teras gulud, dan bedengan searah kontur (Tabel 6). Jumlah hara N, P, dan K yang hilang dari lahan pertanaman pada bedengan panjang 10 m searah lereng adalah 1,4-1,7 kali dari

lahan pertanaman pada bedengan setiap panjang 4,5 m dibuat teras gulud memotong lereng, dan bedengan searah kontur.

Tabel 6. Erosi dan unsur-unsur hara makro dalam aliran permukaan dari lahan pertanaman sayuran dengan pola tanam buncis-kubis pada tanah Hapludands Cipanas, Jawa Barat

Perlakuan konservasi tanah	Erosi	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	t ha ⁻¹	———— kg ha ⁻¹ ————		
Bedengan searah lereng, panjang 10 m	65,10	241	80	18
Bedengan searah lereng, setiap 4,5 m dibuat teras gulud memotong lereng	40,20	145	56	11
Bedengan searah kontur	40,50	146	58	13

Sumber: Suganda *et al.* (1997)

Unsur-unsur hara yang terbawa aliran permukaan terutama N dan P, akan masuk ke dalam badan air atau sungai, sehingga terjadi eutrofikasi di dalam badan air atau sungai tersebut. Pada lahan pertanaman, juga terjadi penurunan kesuburan tanah, sehingga pemupukan yang dilakukan pada budi daya sayuran menjadi tidak efisien. Selain itu, pemupukan yang berlebihan, nitrat (NO₃) atau nitrit (NO₂) yang terbawa aliran permukaan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan sekitar, seperti berkurangnya kualitas air permukaan dan air tanah.

Hasil tanaman

Adanya anggapan bahwa teknik konservasi tanah dapat menurunkan hasil tanaman sayur-sayuran khususnya bedengan tidak sepenuhnya benar. Penelitian Sutapraja dan Asandhi (1998), memperlihatkan hasil kentang dari bedengan searah kontur tidak berbeda nyata dibandingkan dengan hasil kentang dari bedengan diagonal (45°) terhadap kontur (Tabel 7). Dibandingkan dengan hasil kentang dari pertanaman monokultur tanpa mulsa, hasil kentang pada bedengan tersebut relatif lebih tinggi. Akan tetapi, hasil kentang yang ditanam monokultur pada bedengan yang diberi mulsa jerami padi dan mulsa plastik jauh lebih tinggi dan berbeda nyata dibandingkan dengan hasil kentang yang ditanam monokultur tetapi tidak diberi mulsa. Hal tersebut mengindikasikan bahwa teknik konservasi tanah, terutama mulsa, baik mulsa jerami padi maupun mulsa plastik mampu mempertahankan produktivitas tanah, karena tanah dan hara yang terbawa aliran permukaan dari lahan pertanaman dapat dihambat, sehingga tanaman mampu

berproduksi secara normal. Penelitian lain di Desa Batulawang, Kecamatan Pacet, Jawa Barat menunjukkan hal yang hampir sama, yaitu hasil buncis dan kubis dari bedengan yang dibuat searah lereng setiap 4,5 m dipotong teras gulud, dan bedengan searah kontur relatif tidak berbeda dibandingkan dengan hasil pada bedengan yang dibuat searah lereng (Tabel 8).

Tabel 7. Hasil umbi kentang pada berbagai teknik konservasi tanah dan pola tanam di Kecamatan Batur, Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah

Perlakuan konservasi tanah	Hasil umbi kentang
	t ha ⁻¹
Arah bedengan	14,88
- sejajar kontur	15,55
- diagonal terhadap kontur	
Pola tanam dan mulsa	
- monokultur kentang + mulsa jerami	20,71
- monokultur kentang + mulsa plastik	21,64
- monokultur kentang, tanpa mulsa	14,12

Sumber: Sutapraja dan Asandhi (1998)

Data pada Tabel 7 dan 8 menginformasikan bahwa meskipun hasil tanaman sayuran pada perlakuan teknik konservasi tanah dan tanpa teknik konservasi tanah relatif tidak berbeda, --kecuali hasil kentang dari lahan dengan pola tanam monokultur dan menggunakan mulsa adalah paling tinggi--, dalam jangka panjang, hasil tanaman sayuran pada lahan dengan teknik konservasi tanah diperkirakan masih berproduksi baik, dan dapat bertahan lebih lama. Hal tersebut disebabkan karena dengan teknik konservasi tanah, jumlah tanah yang tererosi dan jumlah hara yang hilang dari lahan pertanaman berkurang cukup signifikan (Tabel 2; 3; dan 6). sehingga diperkirakan tingkat kesuburan tanahnya relatif tidak berubah. Sebagai gambaran, dengan menggunakan data jumlah erosi 100 t ha⁻¹ (Tabel 2), dan berat isi tanah 0,7 g/cm³ (Tabel 4), maka tebal lapisan tanah yang tererosi 1,4 cm. Dengan asumsi ketebalan tanah lapisan olah 20 cm, maka dalam waktu 14 tahun, lapisan tanah tersebut akan habis tererosi. Lain halnya bila erosi yang terjadi 40 t ha⁻¹, maka tanah lapisan olah tersebut akan bertahan selama 35 tahun. Umur tanah lapisan atas akan berproduksi lebih lama, terlebih lagi teknik konservasi tanah yang diterapkan telah berfungsi dengan baik, sehingga laju erosi semakin rendah.

Tabel 8. Hasil polong buncis basah dan kubis pada berbagai cara konservasi tanah pada tanah Hapludands Batulawang Cipanas, Jawa Barat

Perlakuan konservasi tanah	Buncis	Kubis
	t ha ⁻¹	
Bedengan searah lereng panjang 10 m	6,10	30,30
Bedengan searah lereng, setiap 4,50 m dibuat teras gulud memotong lereng, ditanami katuk	5,60	24,10
Bedengan searah lereng, setiap 4,50 m dibuat teras gulud memotong lereng, ditanami cabai	6,10	28,20
Bedengan searah kontur	5,90	27,60

Sumber: Suganda *et al.* (1997)

Sama seperti hasil penelitian Sutapraja dan Ashandi (1998), dan Suganda *et al.* (1997), penelitian Erfandi *et al.* (2002) memperlihatkan hal yang serupa, yaitu hasil kacang merah, buncis, dan kubis dari lahan pertanaman dengan bedengan 5 m searah lereng dan bedengan searah kontur hampir tidak berbeda dengan hasil sayuran dari bedengan searah lereng (Tabel 9). Namun demikian, dalam jangka panjang, hasil sayuran pada bedengan panjang 5 m searah lereng dipotong teras gulud, dan bedengan searah kontur diperkirakan akan mampu melestarikan produktivitas tanah, karena ketebalan tanah lapisan atas yang berguna untuk pertumbuhan tanaman tetap terjaga akibat jumlah tanah yang tererosi sedikit. Tidak demikian pada lahan pertanaman tanpa teknik konservasi tanah, akan mengalami kehilangan tanah lebih cepat dibandingkan dengan lahan dengan teknik konservasi tanah, karena jumlah tanah yang tererosi lebih besar.

Tabel 9. Hasil kacang merah, buncis, dan kubis pada beberapa cara konservasi tanah di dataran tinggi Campaka, Kabupaten Cianjur

Perlakuan konservasi tanah	MT 1999			MT 2000		
	Kacang merah	Buncis	Kubis	Kacang merah	Buncis	Kubis
	t ha ⁻¹					
Bedengan searah lereng	2,4	5,8	9,6	2,7	5,3	9,7
Bedengan 5 m searah lereng, dipotong teras gulud	2,2	6,1	9,8	2,5	4,9	9,6
Bedengan searah kontur	2,2	5,8	9,2	2,8	4,8	9,3

Sumber: Erfandi *et al.*, 2002

Selain mempunyai manfaat teknis, penerapan teras gulud di ujung bawah bedengan akan mempunyai manfaat ekonomis apabila pada bidang teras gulud

ditanami tanaman yang mempunyai nilai jual tinggi, dan dalam waktu pendek dapat dipanen, seperti cabai, cabai rawit, kacang panjang, kacang kapri, terong, dan lain-lain. Dengan demikian, bila ditinjau dari segi ekonomis, teknik bedengan panjang 5 m yang dipotong teras gulud mampu mensubstitusi kehilangan lahan karena teras gulud tersebut.

PENUTUP

Teknik konservasi tanah yang baik dan benar umumnya belum dilakukan pada budi daya sayuran dataran tinggi, sehingga kehilangan tanah (erosi) dari lahan pertanaman terus terjadi, menyebabkan produktivitas tanah terus menurun, termasuk hasil komoditas sayur-sayuran penting berkurang setiap tahunnya. Selain itu, erosi membawa sejumlah unsur hara dari dalam tanah, menyebabkan berkurangnya tingkat kesuburan tanah. Keadaan tersebut tidak seharusnya terjadi, mengingat lahan sayuran di dataran tinggi terletak pada topografi bergelombang, berbukit sampai bergunung, dan posisinya terletak di hulu DAS dengan curah hujan tinggi, dan tanahnya rentan terhadap erosi. Penerapan teknik konservasi tanah yang sesuai dengan agroekosistem sayuran dan sosial budaya petani dataran tinggi sudah saatnya dilakukan dan dimasyarakatkan.

Hasil penelitian teknik konservasi tanah berupa bedengan selebar 70-120 cm yang dibuat panjang maksimum 4-5 m searah lereng dipotong teras gulud, dan bedengan searah kontur mampu menghambat laju aliran permukaan dan erosi. Erosi pada kedua macam bedengan tersebut berkurang 50-70% pada bedengan 4-5 m panjang searah lereng, dan 90-95% pada bedengan searah kontur. Agaknya kedua teknik konservasi tanah tersebut mempunyai kemampuan yang tinggi dalam melestarikan agroekosistem sayuran, dan diharapkan dapat diterima masyarakat petani sayuran. Kedua teknik konservasi tanah tersebut telah mengakomodasi kebiasaan para petani sayuran dataran tinggi, dengan sedikit penyesuaian terhadap teknologi yang mereka terapkan.

Hasil sayuran yang diperoleh dari lahan pertanaman dengan bedengan searah kontur, dan bedengan searah lereng setiap 4,5-5,0 m dipotong teras gulud tidak berbeda dibandingkan dengan hasil sayuran dari lahan pertanaman tanpa teknik konservasi tanah. Namun, dalam jangka panjang kedua teknik konservasi tanah tersebut diperkirakan mampu memperbaiki dan meningkatkan produktivitas lahan sayuran, karena tanah lapisan atas hanya sedikit saja mengalami erosi, sehingga kelestarian produktivitas tanahnya tetap terjaga.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. 2002. Statistik Indonesia 2002. BPS Jakarta, Indonesia.
- Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi. 2003. Atlas Sumberdaya Iklim Pertanian skala 1:1.000.000. Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian.
- Biro Pusat Statistik. 1998. Statistik Indonesia 1998. BPS Jakarta, Indonesia.
- Erfandi, D., Undang Kurnia, dan O. Sopandi. 2002. Pengendalian erosi dan perubahan sifat fisik tanah pada lahan sayuran berlereng. hlm. 277-286 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumber Daya Lahan dan Pupuk, Cisarua-Bogor, 30-31 Oktober 2001. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Buku II.
- Fujimoto, A., dan R. Miyaura. 1996. An ecofarming assessment of vegetables cultivation in highland Indonesia. p. 72-78. *In* Rehabilitation and Development of Upland and Highland Ecosystem. Tokyo University of Agricultural Press. Japan.
- Gunadi, N. 1998. Pertumbuhan dan hasil kentang asal biji botani di beberapa ketinggian tempat di musim kemarau. J. Hort. 8 (1): 969-982
- Haryati, U., dan Undang Kurnia. 2001. Pengaruh teknik konservasi terhadap erosi dan hasil kentang (*Solanum tuberosum*) pada lahan budi daya sayuran di dataran tinggi Dieng. hlm. 439-460 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Reorientasi Pendayagunaan Sumberdaya Tanah, Iklim, dan Pupuk. Cipayung-Bogor, 31 Oktober-2 November 2000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor. Buku II.
- Juarsah, I., U. Haryati, dan Undang Kurnia. 2002. Pengaruh bedengan dan tanaman penguat teras terhadap erosi dan produktivitas tanah pada lahan sayuran. hlm. 207-219 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumber Daya Lahan dan Pupuk. Cisarua-Bogor, 30-31 Oktober 2001. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor. Buku II.
- Morgan R. P. C. 1979. Soil Erosion. Topic in Applied Geography. Longman-London and New York.

- Natsuaki, K. T. 1996. The role of plant protection in upland and highland agricultural ecosystem in Indonesia p. 63-71. *In* Rehabilitation and Development of Upland and Highland Ecosystem. Tokyo University of Agricultural Press. Japan.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan. 1995. Data Tahunan Debit Sungai. Wilayah Tengah (Jawa, Bali, Kalimantan). Buku II/Hi-I/1995. Departemen Pekerja Umum, Jakarta.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan. 1996. Data Debit Sungai DAS Serayu-Lukulo tahun 1986-95. Direktorat Jenderal Pengairan, Jakarta.
- Sinukaban, N. 1990. Pengaruh pengolahan tanah konservasi dan pemberian mulsa jerami terhadap produksi tanaman pangan dan erosi hara. *Pembrit. Penel. Tanah dan Pupuk*. 9: 32-38.
- Suganda, H., M. S. Djunaedi, D. Santoso, dan S. Sukmana. 1997. Pengaruh cara pengendalian erosi terhadap aliran permukaan, tanah tererosi, dan produksi sayuran pada Andisol. *Jurnal Tanah dan Iklim* 15: 38-50.
- Sumarna, A., dan Y. Kusandriani. 1992. Pengaruh jumlah pengairan air terhadap pertumbuhan dan hasil cabe paprika (*Capsicum annum* L var. Grosroom) cultivar onon dan polo wonder A. *Buletin Penelitian Hortikultura XXIV* (1): 5-58.
- Sutapraja, H., dan Asandhi. 1998. Pengaruh arah guludan, mulsa, dan tumpangsari terhadap pertumbuhan dan hasil kentang serta erosi di Dataran Tinggi Batur. *Jurnal Hortikultura* 8 (1): 1.006-1.013.
- Suzui, T. 1984. Ecology of phytophthora diseases in vegetable crops in Japan. *In* Soilborne Crop Diseases in Asia. Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region 26:137-148.
- Undang Kurnia, Y. Sulaeman, dan A. Muti K. 2000. Potensi dan pengelolaan lahan kering dataran tinggi. hlm. 227-245 *dalam* Sumberdaya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Undang Kurnia. 1996. Kajian Metode Rehabilitasi Lahan untuk Meningkatkan dan Melestarikan Produktivitas Tanah. Disertasi Doktor Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

7. TEKNOLOGI KONSERVASI AIR PADA PERTANIAN LAHAN KERING

Kasdi Subagyo, Umi Haryati, dan Sidik Hadi Tala'ohu

Konservasi air pada prinsipnya adalah penggunaan air yang jatuh ke tanah seefisien mungkin dan pengaturan waktu aliran yang tepat, sehingga tidak terjadi banjir yang merusak pada musim hujan dan terdapat cukup air pada musim kemarau. Konservasi air dapat dilakukan dengan (a) meningkatkan pemanfaatan dua komponen hidrologi, yaitu air permukaan, dan air tanah dan (b) meningkatkan efisiensi pemakaian air irigasi (Arsyad, 2000).

Pengelolaan air permukaan (*surface water management*) meliputi (1) pengendalian aliran permukaan; (2) pemanenan air (*water harvesting*); (3) meningkatkan kapasitas infiltrasi tanah; (4) pengolahan tanah; (5) penggunaan bahan penyumbat tanah dan penolak air; dan (6) melapisi saluran air. Pengelolaan air bawah permukaan tanah (*sub-surface water management*) dapat dilakukan dengan (1) perbaikan drainase; (2) pengendalian perkolasi (*deep percolation*) dan aliran bawah permukaan (*sub-surface flow*); dan (3) perubahan struktur tanah lapisan bawah. Perbaikan drainase akan meningkatkan efisiensi pemakaian air oleh tanaman, karena hilangnya air yang berlebih (*excess water*) akan memungkinkan akar tanaman berkembang lebih luas ke lapisan tanah yang lebih dalam daripada hanya terbatas di lapisan atas yang dangkal yang akan cepat kering jika permukaan air tanah menurun.

Teknologi konservasi air dirancang untuk meningkatkan masuknya air ke dalam tanah melalui infiltrasi dan pengisian kantong-kantong air di daerah cekungan serta mengurangi kehilangan air melalui evaporasi. Untuk mencapai kedua hal tersebut upaya-upaya konservasi air yang dapat diterapkan adalah teknik pemanenan air (*water harvesting*), dan teknologi pengelolaan kelengasan tanah. Penerapan teknologi panen air dimaksudkan untuk mengurangi volume air aliran permukaan dan meningkatkan cadangan air tanah serta ketersediaan air bagi tanaman. Dengan demikian pengelolaan lahan kering tidak semata-mata tergantung kepada air hujan, melainkan dapat dioptimalkan melalui pemanfaatan sumber air permukaan (*surface water*) maupun air tanah (*groundwater*).

Efisiensi penggunaan air (EPA) dinyatakan dalam banyaknya hasil yang di dapat per satuan air yang digunakan, yang dapat dinyatakan dalam kilogram bahan kering per meter kubik air. Efisiensi penggunaan air irigasi dapat ditingkatkan dengan: (1) mengurangi banyaknya air yang diberikan; (2)

mengurangi kebocoran-kebocoran saluran irigasi; (3) meningkatkan produktivitas; (4) pergiliran pemberian air; dan (5) pemberian air secara terputus.

PENTINGNYA KONSERVASI AIR

Kelangkaan air (*water scarcity*) sangat menghambat proses produksi pertanian khususnya di lahan kering beriklim kering. Hujan merupakan sumber air utama tanaman di sebagian besar wilayah Indonesia. Sekitar 1% dari 183 juta ha lahan di Indonesia mempunyai curah hujan tahunan >1.000 mm (Tabel 1). Di daerah arid dan semi arid, curah hujan yang >1.000 mm mampu mendukung pertanian dengan diterapkannya teknologi hemat air. Curah hujan sebesar 1.000 mm tahun⁻¹ bila dimanfaatkan secara efisien akan dapat menunjang proses produksi untuk dua musim tanam tanaman semusim dengan asumsi bahwa kebutuhan air secara umum untuk tanaman semusim lahan kering adalah 120 mm bulan⁻¹ (Oldeman et al., 1980).

Tabel 1. Distribusi luas lahan di Indonesia berdasarkan curah hujan tahunan per pulau

Pulau	Curah hujan tahunan (mm)				
	>5000	3.500-5.000	2.000-3.500	1.000-2.000	<1.000
	% luas				
Sumatera	0,8	21,5	71,5	6,2	-
Jawa	1,9	12,6	56,0	29,5	-
Bali, NTB, NTT	-	2,1	16,3	69,6	12,0
Kalimantan	-	29,0	66,3	4,7	-
Sulawesi	-	23,0	66,1	30,9	0,8
Maluku	-	1,7	71,9	26,4	-
Irian Jaya	10,3	33,7	40,3	15,7	-
Total (% luas Indonesia)	2,6	20,5	59,7	16,2	1,0

Sumber: BMG (1994)

Berdasarkan jumlah dan distribusi hujan, Las et al. (1991) membagi lahan kering menjadi lahan kering beriklim basah dan lahan kering beriklim kering. Lahan kering beriklim basah adalah lahan dengan curah hujan >2.000 mm tahun⁻¹ dengan masa tanam sistem tadah hujan >6 bulan, sedangkan lahan kering beriklim kering adalah lahan dengan curah hujan <2.000 mm tahun⁻¹ dan masa tanam <6 bulan. Menurut Hidayat dan Mulyani (2002), lahan kering beriklim basah umumnya tersebar di Sumatera, Kalimantan, Papua, Sulawesi bagian tengah, serta wilayah Jawa Barat (Jabar) dan Jawa Tengah (Jateng) bagian tengah dan selatan. Lahan kering beriklim kering umumnya tersebar di Indonesia bagian timur [Bali, Nusa Tenggara Barat (NTB), Nusa Tenggara Timur (NTT), sebagian besar

Sulawesi Tenggara (Sultra), Sulawesi Utara (Sulut) dan dan Sulawesi Selatan (Sulsel), serta di sedikit wilayah di Sumatera dan Kalimantan].

Alih fungsi lahan di daerah penyangga, makin meluasnya lahan kritis dan penyebarannya merubah fungsi hidrologi daerah aliran sungai (DAS) dan awal dari hilangnya volume besar air melalui aliran permukaan (*surface runoff*). Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah (Depkimpraswil) mencatat luas DAS kritis mencapai 13,1 juta ha tahun 1992, dan sekarang menjadi sekitar 18,5 juta ha. Daerah aliran sungai (DAS) kritis penyebarannya meluas dari 22 DAS kritis pada tahun 1984 menjadi 59 DAS kritis tahun 1998. Fakta yang telah banyak diketahui secara luas adalah makin meningkatnya defisit air di wilayah kekurangan air atau menurunnya ketersediaan air di daerah surplus. Mengeringnya kantong-kantong air di daerah cekungan di kawasan DAS adalah indikasi nyata dari makin hilangnya fungsi hidrologis DAS. Pada kondisi ini tindakan konservasi air sangat perlu dilakukan.

PRINSIP DASAR KONSERVASI AIR

Pada prinsipnya konservasi air merupakan tindakan yang diperlukan untuk melestarikan sumber daya air. Namun dalam konteks pemanfaatan, Agus *et al.* (2002) mengemukakan bahwa penggunaan air hujan yang jatuh ke permukaan tanah secara efisien merupakan tindakan konservasi. Strategi konservasi air diarahkan untuk mengupayakan peningkatan cadangan air pada zona perakaran tanaman melalui pengendalian aliran permukaan (*runoff*) yang biasanya merusak dengan cara pemanenan aliran permukaan, peningkatan infiltrasi dan mengurangi evaporasi. Agus *et al.* (2002) mengemukakan bahwa ada dua pendekatan yang dapat ditempuh untuk mengefisienkan penggunaan air, yaitu (a) melalui pemilihan tanaman yang sesuai dengan keadaan iklim dan (b) melalui teknik konservasi air seperti penggunaan mulsa, gulud dan teknik tanpa olah tanah.

Aliran permukaan merupakan komponen penting dalam hubungannya dengan konservasi air (Troeh *et al.*, 1991; Arsyad, 2000). Oleh sebab itu tindakan-tindakan yang berhubungan dengan pengendalian dan pengelolaan aliran permukaan dapat diformulasikan dalam strategi konservasi air. Aspek penting yang perlu diperhatikan adalah sebanyak mungkin air hujan meresap ke dalam tanah untuk ditahan sebanyak-banyaknya di daerah-daerah cekungan atau lembah, sehingga dapat digunakan sebagai sumber air untuk pengairan di musim kemarau (MK) maupun pada periode pendek saat dibutuhkan oleh tanaman pada musim hujan (MH). Konservasi air juga dapat dilakukan dengan mengurangi penguapan air melalui evaporasi dengan meningkatkan penutupan permukaan tanah dengan mulsa (Suwardjo, 1981; Suwardjo *et al.*, 1989; Abdurachman dan Sutono, 2002) dan teknologi ini sudah sangat populer di kalangan petani.

Menurut Troeh *et al.* (1991), strategi konservasi air mencakup metode pengelolaan untuk (1) menurunkan aliran permukaan; (2) mengurangi evaporasi; (3) mengurangi perkolasi (*deep percolation*); dan (4) mencegah kehilangan air yang tidak penting dari daerah penyimpanan (*storage*). Dengan demikian tindakan konservasi air dapat diarahkan untuk (a) mengurangi jumlah air aliran permukaan melalui peningkatan infiltrasi, peningkatan kandungan bahan organik, atau dengan meningkatkan simpanan air di permukaan tanah (*surface storage*) dan di dalam tanah, misalnya melalui peningkatan kekasaran permukaan tanah (dengan pengolahan tanah), saluran peresapan, pembuatan rorak, sumur resapan, kedung, situ, embung, dan lain-lain; (b) memperlambat kecepatan aliran permukaan melalui cara vegetatif, mengurangi kemiringan lahan dan memperpendek lereng; (c) pemeliharaan sumber daya air (konservasi sumber daya air); dan (d) panen hujan.

TEKNOLOGI KONSERVASI AIR

Teknik pemanenan air

Pemanenan air (*water harvesting*) adalah tindakan menampung air hujan dan aliran permukaan untuk disalurkan ke tempat penampungan sementara dan atau tetap (permanen) yang sewaktu-waktu dapat digunakan untuk mengairi tanaman yang diusahakan pada saat diperlukan. Teknologi panen air selain berfungsi menyediakan sumber air irigasi pada MK dapat pula berfungsi mengurangi banjir pada MH. Panen air hujan dan aliran permukaan ditujukan untuk (1) menurunkan volume aliran permukaan dan meningkatkan cadangan air tanah; (2) meningkatkan ketersediaan air tanaman terutama pada MK; dan (3) mengurangi kecepatan aliran permukaan sehingga daya kikis dan daya angkutnya menurun (Agus *et al.*, 2002).

Teknologi pemanenan air sangat bermanfaat untuk lahan yang tidak memiliki jaringan irigasi atau sumber air bawah permukaan tanah (*groundwater*). Selain dapat dimanfaatkan untuk pengairan, air yang tertampung dapat juga digunakan untuk pemeliharaan ikan, keperluan rumah tangga, dan minum ternak terutama pada MK.

Teknologi pemanenan air sangat diperlukan pada kawasan dengan karakteristik sebagai berikut: (a) kawasan beriklim kering dan semikering (>4 bulan kering berturut-turut sepanjang tahun) atau 3-4 bulan tanpa hujan sama sekali; (b) kawasan dimana produksi tanaman pangan terbatas karena rendahnya ketersediaan air di dalam tanah; (c) semua lahan berlereng (bergelombang sampai berbukit) dengan kondisi fisik tanah yang buruk, sehingga tidak dapat menyimpan/menahan air dalam waktu yang lama; dan (d) daerah beriklim basah yang mempunyai periode kritis (stres air). Secara umum, tindakan konservasi

tanah yang dapat menurunkan limpasan air permukaan seperti penterasan (Haryati *et al.*, 1992; Haryati *et al.*, 1995; Rachman *et al.*, 1989) atau sistem budi daya lorong (*alley cropping*) pada lahan miring dapat memperbesar infiltrasi, sehingga meningkatkan daya simpan air tanah.

Penerapan teknologi pemanenan air dapat memberikan beberapa keuntungan, antara lain (1) meningkatkan ketersediaan air bagi manusia, tanaman dan ternak; (2) meningkatkan intensitas tanam, produksi, pendapatan petani, dan produktivitas tenaga kerja petani; (3) mengurangi dan mencegah bahaya banjir dan sedimentasi; dan (4) menampung hasil sedimentasi yang dapat dikembalikan ke lahan usaha tani. Sedangkan kerugian dalam menerapkan teknologi ini adalah (1) memerlukan tenaga kerja dan biaya untuk pembangunan serta pemeliharaan rutin; (2) mengurangi luas lahan budi daya karena sebagian digunakan untuk pembuatan bangunan; dan (3) memerlukan kerjasama di antara petani untuk pembuatan bangunan dan saluran pembuangan air (SPA) (Tala'ohu, 1998; Agus *et al.*, 1998).

Beberapa teknik konservasi tanah yang dapat diterapkan dalam upaya pemanenan air hujan dan aliran permukaan adalah pembuatan saluran peresapan, rorak, mulsa vertikal, embung, dan sistem drainase.

Saluran peresapan

Saluran peresapan berfungsi untuk menampung air aliran permukaan dan meningkatkan daya resap air ke dalam tanah (Gambar 1). Tanah yang digali untuk saluran dapat digunakan untuk pembuatan bedengan. Tanah galian tersebut juga dapat diletakkan pada bagian bawah saluran dan membentuk guludan. Untuk menjaga kestabilannya, guludan ini perlu ditanami dengan rumput penguat seperti rumput bahia (*Paspalum notatum*), rumput pait (Sunda) (*Paspalum conjugatum*), rumput bedé (*Brachiaria decumbens*), akar wangi (*Vetiveria zizanioides*), atau pohon legum seperti lamtoro (*Leucaena leucocephala*), gamal (*Glyricidia sepium*), dan lain-lain.



Gambar 1. Saluran peresapan pada pertanaman bawang daun

Persyaratan utama yang harus dipenuhi dalam aplikasi teknologi ini adalah (a) tanah tidak rawan longsor; (b) tanah mempunyai kemampuan tinggi untuk meresapkan air; dan (c) dapat dibuat pada tanah yang agak dangkal (kedalaman 20-40 cm). Longsor yang dimaksud pada butir (a) dapat terjadi apabila terpenuhi tiga syarat yaitu (a) tanah pada lahan dengan lereng curam, sehingga volume tanah dalam jumlah yang relatif banyak dapat bergerak atau meluncur ke bawah; (b) terdapat lapisan yang agak kedap air dan lunak di bawah permukaan tanah yang merupakan bidang luncur, dan (c) terdapat cukup air dalam tanah, sehingga lapisan tanah tepat di atas lapisan kedap air tadi menjadi jenuh (Arsyad, 2000).

Saluran peresapan dibuat mengikuti kontur dengan ukuran lebar 30-40 cm dan dalam 40-50 cm. Saluran ini dapat dilengkapi dengan rorak yang dibuat dalam saluran, untuk memperbesar daya tampung air aliran permukaan dan sedimen. Untuk memberikan peluang mengganti air maka pada sistem konservasi air ini perlu dilengkapi dengan SPA.

Kelebihan dari teknologi ini adalah dapat memberikan peluang air untuk meresap lebih lama ke dalam tanah, dan dapat diterapkan pada tanah-tanah agak dangkal. Hasil sedimen dapat dikembalikan ke bidang olah bersamaan dengan persiapan lahan saat pengolahan tanah untuk musim tanam (MT) berikutnya. Permukaan air pada saluran peresapan harus dijaga agar tidak mengganggu perakaran tanaman, yang dapat ditempuh dengan jalan membangun pintu air sekat pada ketinggian tertentu (*overflow gate*) pada saluran pembuangan. Adapun kelemahan teknologi ini adalah bahwa penerapannya membutuhkan tenaga kerja yang relatif banyak terutama untuk pemeliharaan. Setelah beberapa kali hujan, saluran peresapan ini biasanya terisi sedimen, sehingga perlu pemeliharaan yang rutin.

Rorak

Rorak adalah lubang atau penampung yang dibuat memotong lereng, berukuran kecil sampai sedang, dibuat di bidang olah (Gambar 2) atau di saluran peresapan atau pada SPA yang ditujukan untuk: (a) menampung dan meresapkan air aliran permukaan ke dalam tanah; (b) memperlambat laju aliran permukaan; (c) pengumpul sedimen yang memudahkan untuk mengembalikannya ke bidang olah; dan (d) jika dibangun pada saluran peresapan akan meningkatkan efektivitas saluran peresapan tersebut.

Dimensi rorak dapat dibuat bervariasi, dan sangat tergantung pada kondisi dan kemiringan lahan serta besarnya limpasan permukaan. Umumnya rorak dibuat dengan ukuran panjang 1-2 m, lebar 0,25-0,50 m dan dalam 0,20-0,30 m atau dapat juga dibuat dengan ukuran panjang 1-2 m, lebar 0,30-0,40 m dan dalam 0,40-0,50 m. Jarak antar rorak (dalam satu garis kontur) adalah 2-3 m, sedangkan jarak antara rorak bagian atas dengan baris rorak dibawahnya berkisar antara 3-5 m atau tergantung pada kemiringan lahan. Untuk memaksimalkan fungsinya, maka bangunan rorak (antar barisan) dibuat secara berselang-seling (Tala'ohu, 1998; Agus *et al.*, 1998).



Gambar 2. Rorak pada pertanaman kopi di Sumberjaya, Lampung

Pembuatan rorak dilakukan bersamaan dengan pengolahan tanah dan persiapan tanam. Biasanya setelah beberapa kali hujan, rorak ini akan tertutup sedimen, oleh sebab itu memerlukan pemeliharaan agar dapat berfungsi secara optimal. Apabila sudah tertutup sedimen, maka dimensi rorak perlu disempurnakan sewaktu-waktu dengan jalan menggali/mengangkat tanah dari dalam rorak untuk dikembalikan lagi ke bidang olah. Pemeliharaan ini dapat dilakukan bersamaan dengan waktu penyiangan atau pembumbunan.

Beberapa hasil penelitian menunjukkan efektivitas rorak sebagai bangunan pemanen air, diantaranya ditunjukkan oleh kemampuannya dalam mengurangi kehilangan air melalui aliran permukaan (Noeralam, 2002; Tala'ohu et al., 1992; Tala'ohu et al., 2001).

Mulsa vertikal (slot mulch)

Rorak dapat diisi dengan sisa tanaman atau serasah (mulsa) untuk meningkatkan kemampuan rorak dalam menyimpan dan menjerap sedimen. Kombinasi antara rorak dan mulsa ini disebut sebagai mulsa vertikal (*slot mulch*).

Mulsa vertikal atau disebut juga jebakan mulsa adalah bangunan menyerupai rorak yang dibuat memotong lereng dengan ukuran yang lebih panjang bila dibandingkan dengan rorak. Ukuran jebakan mulsa harus disesuaikan dengan keadaan lahan dengan lebar 0,40-0,60 m dan dalam 0,30-0,50 m. Jarak antar barisan jebakan mulsa ditentukan oleh kemiringan lahan atau berkisar antara 3-5 m. Jebakan mulsa ini merupakan tempat meletakkan sisa hasil panen atau rumput hasil penyiangan dan sekaligus berfungsi untuk menampung air aliran permukaan serta sedimen. Setelah beberapa kali hujan, jebakan mulsa ini biasanya terisi oleh sedimen. Pada musim tanam berikutnya, bersamaan dengan persiapan dan pengolahan tanah, jebakan mulsa tersebut

diperbaiki/dibuat kembali. Hasil pelapukan sisa tanaman dan sedimen dari jebakan mulsa dikembalikan ke bidang olah.

Rorak yang dikombinasikan dengan mulsa dapat mengurangi erosi 94%. Teknik tersebut juga dapat digolongkan sebagai suatu cara pemanenan air yang tergolong efektif, salah satunya dicerminkan oleh kemampuannya dalam pemeliharaan lengas tanah (Noeralam, 2002). Pemeliharaan lengas tanah akibat adanya teknik pemanenan air berupa rorak yang dikombinasikan dengan gulud dan mulsa vertikal dibandingkan dengan tanah terbuka, setelah 5–7 hari tidak ada hujan dapat dilihat pada Tabel 2. Pengaruh rorak yang dikombinasi dengan mulsa vertikal, dan/atau teras gulud terhadap lengas tanah berbeda nyata pada kedalaman 10–50 cm setelah 7 hari tidak hujan. Teknik pemanenan air dengan rorak + mulsa vertikal (T₁) paling efektif dalam mempertahankan lengas tanah. Setelah 7 hari tidak hujan, lengas tanah pada kedalaman 10 cm tertinggi pada teknik pemanenan air T₁ yaitu 28,08% lebih tinggi 4,7; 9,9 dan 15% dibandingkan dengan lengas tanah pada teknik T₂ dan T₃, dan pada tanah terbuka.

Tabel 2. Pengaruh rorak yang dikombinasikan dengan mulsa dan/atau gulud terhadap lengas tanah setelah 5–7 hari tidak hujan di kecamatan Singosari, kabupaten Malang

Lama tidak hujan	Kedalaman tanah	Lengas tanah perlakuan*			Tanah terbuka
		T ₁	T ₂	T ₃	
hari	cm	%			
5	10	33,77 a *	33,57 a	33,44 a	29,15
	20	33,77 a	33,81 a	33,93 a	30,70
	40	34,53 a	34,50 a	34,42 a	30,53
	50	34,16 a	34,32 a	34,28 a	34,92
7	10	28,08 a	26,76 b	25,30 c	23,83
	20	28,42 a	27,61 b	27,05 b	25,21
	40	30,99 a	26,70 b	30,34 a	28,92
	50	29,66 a	28,95 b	28,24 b	30,83

* Angka pada kolom perlakuan pada baris yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama , tidak berbeda nyata pada 5 % DMRT, T₁ = rorak + mulsa vertikal, T₂ = rorak + gulud + mulsa vertikal, T₃ = rorak + gulud

Sumber: Noeralam (2002)

Hasil penelitian Fairbourn dan Gardner (1972) *dalam* Noeralam (2002) di laboratorium mencatat bahwa alur yang diberi mulsa vertikal meningkatkan infiltrasi lebih besar daripada alur tanpa mulsa, dan mulsa vertikal juga bisa mengurangi laju evaporasi dari sekitarnya. Selanjutnya percobaan lapang Fairbourn dan Gardner (1974) *dalam* Noeralam (2002) mendapatkan bahwa perlakuan mulsa vertikal dapat menghemat air 41% lebih besar dari perlakuan tanpa mulsa, serta meningkatkan hasil sorgum 37–150%. Kombinasi mulsa

vertikal dengan teras gulud juga sangat nyata dalam menekan aliran permukaan (67–82%) (Brata, 1995a; Brata 1995b).

Dalam hubungannya dengan konservasi air, mulsa vertikal ini dapat mengendalikan aliran permukaan. Beberapa hasil penelitian pada lokasi, jenis tanah, dan kemiringan yang berbeda menunjukkan bahwa mulsa vertikal sangat efisien dalam mengendalikan aliran permukaan. Hal ini telah banyak dibahas pada Bab 5.

Embung

Embung merupakan bangunan yang sengaja dibangun dan berfungsi selain sebagai pemanen aliran permukaan dan air hujan, juga sebagai tempat resapan yang akan mempertinggi kandungan air tanah. Tujuan pembuatan embung adalah untuk penyediaan air di musim kemarau (Gambar 3). Embung hendaknya dibangun dekat dengan saluran air dan pada lahan dengan kemiringan antara 5-30%, agar limpasan air permukaan cepat mengisi embung dan sebaliknya air dari embung dapat dengan mudah disalurkan ke lahan usaha tani secara gravitasi. Tanah-tanah bertekstur liat dan atau lempung sangat cocok untuk pembuatan embung, sedangkan tanah-tanah bertekstur kasar atau berpasir akan memperbesar kehilangan air melalui perkolasi.

Keuntungan dalam penerapan embung adalah (a) menyimpan air yang berlimpah di MH, sehingga aliran permukaan, erosi dan bahaya banjir di daerah hilir dapat dikurangi serta dapat dimanfaatkan di MK; (b) dapat menunjang pengembangan usaha tani di lahan kering khususnya subsektor tanaman pangan, perikanan dan peternakan; (c) menampung tanah tererosi, sehingga memperkecil sedimentasi ke sungai; dan (d) setelah beberapa lama dapat dibuat sumur dekat embung untuk memenuhi keperluan rumah tangga (Syamsiah et al., 1994; Tala'ohu, 1998).

Adapun kelemahannya adalah (a) penerapan embung akan mengurangi luas lahan yang dapat dikelola petani; (b) perlu tambahan biaya dan tenaga untuk pemeliharaan, karena daya tampung embung berkurang akibat adanya sedimen yang ikut tertampung; dan (c) jika dilapisi plastik tentunya membutuhkan tambahan biaya.

Untuk memberikan peluang efektivitas embung dan peluang penerapannya, beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah:

- (a) embung hendaknya dibangun di kawasan yang mempunyai luas daerah aliran air (tampungan) yang cukup, sehingga limpasan air hujan dapat disalurkan ke dalam embung hingga mengisi penuh pada musim hujan. Sebagai contoh untuk embung yang berukuran 400 m³, maka daerah aliran/tangkapan air hujan diatasnya sedikitnya 800 m²;

- (b) kedalaman embung berkisar antara 4-10 m;
- (c) jika embung merupakan milik perseorangan atau keluarga, hendaknya embung dibuat di dekat atau di tengah lahan pertaniannya. Bila merupakan embung kelompok, letaknya harus pada tempat yang disepakati, tetapi tetap memenuhi persyaratan daerah aliran, dan letaknya masih terjangkau petani;
- (d) tidak terlalu jauh dari saluran pembuangan utama agar memudahkan pembuangan kelebihan air; dan
- (e) jika embung dibuat pada lahan miring, perlu memperhatikan sifat-sifat tanah terutama stabilitas dan porositasnya. Pada tanah yang labil ada kemungkinan embung mudah longsor atau retak-retak, contohnya pada tanah Vertisol/Grumusol atau tanah lain yang mempunyai sifat mudah retak (*cracks*).



Gambar 3. Salah satu prototipe embung di Gunung Sugih, Lampung Tengah
(Foto: Sutono)

Dalam pembuatan embung, beberapa hal yang harus diperhatikan adalah (a) tempat yang telah terpilih sebagai lokasi embung ditandai (dipancang patok) sesuai dengan panjang dan lebar permukaan; (b) arah galian tanah dimulai dari sekeliling tepi embung ke arah tengah agar pengangkutan tanah galian menjadi lebih mudah serta dapat dibentuk tebing embung yang miring dan undakan horizontal dengan lebih baik; (c) apabila embung akan dilapisi plastik, permukaan embung hendaknya diratakan, buanglah batu-batu dan tonjolan-tonjolan tajam yang dapat melubangi plastik. Apabila tidak dilapisi plastik, dinding dan dasar embung perlu dipadatkan agar menjadi kedap air. Beberapa bahan yang biasa digunakan untuk melapisi dasar dan dinding embung adalah aspal, beton, plastik, campuran tanah dan semen, bentonit; (d) perlu dibuat saluran air yang masuk dan keluar embung. Saluran ini dibuat untuk mengalirkan limpasan air ke dalam

embung dan mengalirkan kelebihan air dari dalam embung ke saluran alami atau buatan; dan (e) kebutuhan bahan untuk pembuatan embung (kapasitas 400 m³) adalah plastik *polyethilen* (0,00015 m x 1,5 m x 50 m) 5 rol, batu bata 13.100 buah, semen 20 sak, dan pasir 6 m³. Sedangkan tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 200 HOK (hari orang kerja).

Pada dasarnya embung dapat dibedakan menjadi dua, yaitu (1) embung pertanian, dan (2) embung tradisional.

Embung pertanian

Embung pertanian dirancang untuk irigasi lahan pertanian dalam skala yang cukup luas. Embung ini biasanya dibuat permanen atau semi permanen. Semen dan plastik dibutuhkan untuk membuat dasar dan dinding kedap air.

Embung tradisional

Embung tradisional adalah embung yang dibuat atas inisiatif pribadi petani. Biasanya hanya berupa galian tanah dengan volume yang tidak terlalu besar. Embung tradisional biasanya dibuat pada tanah-tanah yang lapisan bawahnya kedap air, dapat pula dibuat pada dasar sungai yang mengering di MK. Maswar et al. (1995) melaporkan bahwa embung yang sumber airnya berasal dari mata air yang berada di atasnya, di Dusun Sunggingan, Desa Umbulrejo, Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunung Kidul, berukuran 12 m x 5 m x 3 m, tidak mengalami penurunan volume yang banyak, walaupun setiap harinya dimanfaatkan oleh petani sebanyak ± 4 m³ selama MK (Mei – September 1994). Setelah MK berlangsung selama 5 bulan, terjadi penurunan 24,6 m³. Perubahan volume selama musim kemarau 1994 dapat dilihat pada Tabel 3.

Dari Tabel 3 tersebut dapat dihitung jumlah penggunaan air embung selama ± 5 bulan (Mei – September 1994) atau selama musim kering. Volume air minimum yang dapat disuplai atau diperoleh dari embung selama musim kering adalah 153 hari (5 bulan) x 4 m³ + 61,50 m³ = 673 m³. Angka ini menggambarkan besarnya potensi sumber daya air yang tersimpan dalam embung. Apabila dapat dimanfaatkan secara optimal akan memberikan sumbangan yang sangat berarti bagi petani di sekitar embung, terutama dalam mengantisipasi masalah kekeringan air pada MK. Dalam beberapa kasus, embung dibuat berukuran kecil, yang sering disebut juga sebagai embung mikro atau kedung. Umumnya petani membuat kedung dengan volume ± 100 m³ yang biasanya dibuat secara gotong-royong. Untuk mencapai azas pemanfaatan air yang lestari dan berwawasan lingkungan, maka prinsip dan kaidah konservasi air perlu diterapkan dalam pemanfaatan air dari kedung. Langkah operasional yang harus ditempuh dari aspek konservasi air adalah sedapat mungkin mengupayakan air aliran

permukaan masuk ke dalam tanah atau ditampung ke dalam kedung, dan penyediaan air dan pemanfaatannya secara tepat waktu, serta tepat jumlah sesuai kebutuhan tanaman.

Tabel 3. Perubahan volume air embung selama musim kemarau pada tanah Mediteran di Desa Sunggingan, Gunung Kidul, 1994

Waktu pengamatan	Volume embung	Keterangan
	m ³	
Akhir Mei 1994	86,10	Setiap hari dimanfaatkan ± 4 m ³
Akhir Juni 1994	84,05	
Akhir Juli 1994	77,90	
Akhir Agustus 1994	69,70	
Akhir September 1994	61,50	

Sumber: Maswar *et al.* (1995)

Dari hasil penelitiannya di Selopamioro, Bantul, Yogyakarta, Irawan *et al.* (2000) melaporkan bahwa teknologi kedung dapat meningkatkan hasil usaha tani sawah tadah hujan dalam setara gabah dari 4.230 kg menjadi 11.700 kg gabah ha⁻¹ tahun⁻¹ atau meningkat hingga 176% (Tabel 4). Peningkatan hasil usaha tani tersebut antara lain disebabkan oleh perubahan pola tanam. Luas lahan yang digunakan untuk kedung di lahan sawah tadah hujan adalah sekitar 7% dari luas areal pertanian, sedangkan untuk lahan kering, kedung umumnya dibuat dengan dimensi 7 m x 2,5 m x 3 m atau kapasitas tampung air sekitar 52,5 m³.

Tabel 4. Pengaruh kedung terhadap pola tanam dan produksi tanaman pada lahan sawah tadah hujan dan lahan kering di Selopamioro, Kabupaten Bantul, Yogyakarta

Jenis penggunaan lahan dan indikator	Tanpa kedung	Dengan kedung
Sawah tadah hujan		
a. Pola tanam	Padi - bera	Padi- tembakau - jagung
b. Produksi ¹⁾	4.230	11.700
Lahan kering		
a. Pola tanam	Kacang tanah+ ubi kayu	Kacang tanah-jagung+ubi kayu Kacang tanah-jagung+sayuran
b. Produksi ¹⁾	3.545	4.300-6.260

Sumber: Irawan *et al.* (2000)

¹⁾ Setara kg gabah/ha, konversi bentuk hasil usaha tani berdasarkan harga pasar

Gulud pemanen air

Pemanfaatan gulud pemanen air yang distabilisasi dengan strip rumput merupakan alternatif untuk memanen air dan meningkatkan kelengasan tanah. Teras gulud dan strip rumput terbukti mampu meningkatkan kadar air tanah selain mengendalikan erosi (Tala'ohu *et al.*, 1992; Haryono *et al.*, 2000). Sejauh ini,

penerapan teras gulud, strip rumput, dan penggunaan bahan organik, pengaturan waktu tanam, pemilihan komoditas tahan kering dan lain-lain yang diterapkan untuk mengatasi kelangkaan air umumnya dilaksanakan secara parsial (Agus, 2000).

Gulud pemanen air memberikan kontribusi yang lebih besar dari teras gulud dalam peningkatan kelengasan tanah. Dari hasil penelitiannya di Desa Mekarsari, Kecamatan Praya Barat, Kabupaten Lombok Tengah, NTB, Haryono et al. (2000) melaporkan bahwa tingkat kelengasan tanah tersebut sangat ditentukan oleh jaraknya dari gulud pemanen air. Kelengasan yang sangat signifikan pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman dan terutama kontribusinya dalam memperpanjang masa tanam dijumpai pada jarak hingga 50 cm dari gulud pemanen air. Kelengasan juga meningkat pada jarak 75 cm tetapi pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan masa tanam tidak signifikan. Pada Tabel 5. disajikan data pengaruh jarak interval terhadap kelembapan tanah.

Tabel 5. Pengaruh jarak interval terhadap kelengasan tanah*

Perlakuan	Kadar air		
	25 cm	50 cm	75 cm
	%		
Gulud pemanen air + rumput pakan ternak	33,68 c	26,05 b	17,92 a
Gulud pemanen air + gamal	39,68 c	30,56 c	15,47 a
Teras gulud + rumput pakan ternak	22,55 b	17,65 a	11,34 a
Teras gulud + gamal	20,10 b	17,92 a	9,16 a
Teknologi petani setempat	15,47 a	13,29 a	9,39 a

* Diukur pada 28-12-1994, curah hujan 171 mm
Sumber: Haryono et al. (2000)

Pengelolaan kelengasan tanah

Konservasi air dapat dikembangkan melalui pengelolaan kelengasan tanah dengan cara meningkatkan kemampuan tanah menahan air (*water holding capacity*). Kemampuan tanah menahan air adalah identik dengan air tersedia bagi tanaman (*crop water availability*). Besarnya air tersedia ini merupakan selisih antara kadar air pada kapasitas lapang (*field capacity*) dan kadar air pada titik layu permanen (*permanent wilting point*). Tiap-tiap jenis tanah memiliki kemampuan menahan air yang berbeda, sebagaimana disajikan pada Tabel 6. Kemampuan menahan air tertinggi dipunyai oleh tanah bertekstur lempung berliat (0,21) dan lempung berdebu (0,21) dan terendah pada pasir (0,05). Selain itu, konservasi air juga dapat dikembangkan dengan jalan mengurangi laju kehilangan air melalui evaporasi.

Tabel 6. Kemampuan tanah menahan air (*water holding capacity*) pada berbagai tekstur tanah

Tekstur tanah	Kapasitas lapang	Titik layu permanen	Kemampuan tanah menahan air
		mm mm ⁻¹	
Pasir	0,10	0,05	0,05
Pasir halus	0,15	0,06	0,09
Lempung berpasir	0,20	0,07	0,13
Lempung berpasir halus	0,25	0,08	0,17
Lempung	0,29	0,09	0,20
Lempung berdebu	0,31	0,10	0,21
Lempung berliat	0,39	0,18	0,21
Liat	0,40	0,23	0,17

Sumber: Fetter (1988) dalam Guymon (1994)

Beberapa upaya untuk meningkatkan kemampuan tanah menahan air diuraikan sebagai berikut:

Pengelolaan bahan organik

Usaha tani di lahan kering berlereng biasanya dilakukan cukup intensif, sehingga perlu dibarengi dengan upaya pengendalian degradasi lahan melalui penerapan teknik konservasi air (dan tanah) serta pengelolaan bahan organik. Hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan produktivitas tanah, sehingga mampu mendukung keberlanjutan usaha tani di lahan kering.

Bahan organik dalam tanah dapat meningkatkan kemampuan tanah menahan air melalui pengikatan molekul-molekul air lewat gugus-gugus fungsionalnya dan pengisian pori-pori mikro tanah akibat agregasi yang lebih baik (Stevenson, 1982). Hal ini telah dibuktikan pada berbagai penelitian bahwa tanah-tanah dengan kandungan bahan organik yang lebih tinggi akan memiliki kemampuan memegang air yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah-tanah yang kandungan bahan organiknya lebih rendah (Sukmana *et al.*, 1986; Erfandi *et al.*, 1993).

Kemampuan tanah menahan air dapat bervariasi antara satu tempat dengan tempat lainnya, yang salah satunya disebabkan oleh kandungan bahan organik yang berbeda. Demikian juga pemberian bahan organik ke dalam tanah untuk peningkatan kemampuan menahan air sangat ditentukan oleh takaran dan macam bahan organik yang diaplikasikan. Dari hasil penelitiannya di Kali Gesik, Jateng pada tanah berskeletal vulkanik, Sukmana *et al.* (1986) melaporkan bahwa tanah yang diberi bahan organik dari opo-opo (Jawa)/hahapaan (Sunda) (*Flemingia congesta*) mampu menahan air hingga 5–6% lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi tanah sebelum penanaman, setelah 14 tahun penanaman legum tersebut. Sementara vegetasi alami hanya mampu meningkatkan kandungan air tanah 2% dari kondisi tanah tanpa vegetasi. Dari hasil penelitiannya di Kuamang

Kuning-Jambi dan Ketahun-Bengkulu, Erfandi *et al.* (1993) melaporkan bahwa hijauan mukuna mampu meningkatkan kadar air tersedia (kemampuan menahan air), dan umumnya makin lama umur mukuna, makin besar kontribusinya dalam menahan air (Tabel 7).

Tabel 7. Pengaruh hijauan mukuna terhadap kemampuan tanah menahan air (air tersedia)

Perlakuan	Air tersedia
	% vol
Kuamang Kuning- Jambi (1991/1992)	
Sebelum ditanam mukuna	10,5
Setelah ditanam mukuna	11,2
Ketahun-Bengkulu (1990/1991)	
Kontrol	6,1
2 bulan setelah tanam	10,4
4 bulan setelah tanam	12,6
5,5 bulan setelah tanam	12,7

Sumber: Erfandi *et al.* (1993) dengan modifikasi

Bahan organik berperan sebagai pengikat partikel atau agregat mikro dilaporkan juga oleh Whitbread (1995), yang dibuktikan dengan hasil penelitiannya yang menunjukkan bahwa stabilitas agregat berukuran besar (*macroaggregates*) meningkat dengan meningkatnya kandungan bahan organik. Dari hasil penelitiannya mengenai pemanfaatan residu tanaman di Australia, Felton *et al.* (1987) dalam Strong dan Lefroy (1995) melaporkan bahwa dengan mempertahankan residu tanaman di lahan mampu meningkatkan simpanan air sebagai akibat berkurangnya aliran permukaan dan meningkatnya laju infiltrasi.

Bahan organik di dalam tanah berfungsi sebagai perekat (*cementing agent*) dalam pembentukan dan pemantapan agregat tanah, sehingga agregat tanah tidak mudah hancur karena pukulan butir air hujan. Agregat tanah yang hancur menjadi butiran tunggal dapat menyumbat pori-pori tanah, sehingga kapasitas infiltrasi tanah menurun dan tanah peka terhadap erosi. Penyumbatan pori tanah yang berakibat pada pengurangan total pori juga akan berdampak pada kapasitas tanah menahan air. Bahan organik dapat berasal dari pupuk kandang, sisa tanaman, hasil pangkasan tanaman pagar dari suatu sistem pertanaman lorong, hasil pangkasan tanaman penutup tanah atau didatangkan dari luar lahan pertanian.

Goenadi (1993) melaporkan bahwa pemberian 40 t ha⁻¹ pupuk kandang pada pertanaman tebu di Kecamatan Gondangrejo, Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah dapat meningkatkan kadar air tanah pada saat kapasitas lapang dan titik layu permanen, sehingga air tersediapun meningkat. Peningkatan ini

lebih terlihat pada pertanaman tebu pada lahan dengan kemiringan yang lebih tinggi (Tabel 8).

Tabel 8. Peningkatan kadar air pada kondisi kapasitas lapang, titik layu permanen serta air tersedia akibat penambahan pupuk kandang pada pertanaman tebu lahan kering di Kecamatan Gondangrejo, Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah

Kondisi/sifat fisik	Kemiringan	Kadar air		Peningkatan kadar air
		Tanpa pukan	Dengan pukan	
	%	% vol		
Kapasitas lapang	8 – 15	23,63	26,20	2,57
	15 – 30	16,57	23,52	6,95
	30 – 45	14,38	26,14	11,78
Titik layu permanen	8 – 15	10,52	12,31	1,79
	15 – 30	7,87	10,56	2,69
	30 – 45	6,85	12,60	5,75
Air tersedia	8 – 15	13,11	13,89	0,78
	15 – 30	8,70	12,96	4,26
	30 – 45	7,53	13,54	6,01

Sumber: Diolah dari Goenadi (1993), pukan = pupuk kandang, vol = volume.

Pembenaman kompos/bahan organik pada tanah regosol Mojosari terbukti dapat mengurangi bobot isi tanah rata-rata 30% di lapisan permukaan dan 16% di lapisan 20–40 cm, serta meningkatkan kapasitas tanah menahan air rata-rata 18% di lapisan permukaan dan rata 19% di lapisan 20–40 cm (Indrawati, 1998). Kompos sekam dan jerami padi menunjukkan manfaat yang lebih baik dalam memperbaiki sifat fisik tanah, dimana masing-masing dapat menurunkan bobot isi tanah dan meningkatkan kapasitas tanah menahan air berturut-turut 36 dan 28% (Tabel 9).

Pemanfaatan bahan pembenah tanah (soil conditioner)

Bahan pembenah tanah (soil conditioner) adalah bahan-bahan yang mampu memperbaiki struktur tanah, mengurangi atau menanggulangi erosi dan dapat merubah kapasitas tanah menahan dan melalukan air (Hartman and Verplancke, 1976). Bahan pembenah tanah dapat juga diartikan sebagai bahan-bahan sintetis atau alami yang dapat memperbaiki sifat-sifat tanah, sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman (Sutono dan Abdurachman, 1997). Bahan ini sering disebut juga bahan pemantap tanah.

Tabel 9. Pengaruh pembenaman kompos/bahan organik terhadap bobot isi, kapasitas tanah menahan air dan kadar air kapasitas lapang pada tanah Regosol Mojosari

Jenis bahan organik	Bobot isi	Kapasitas menahan air	Kadar air kapasitas lapang
	g cm ⁻³	————— % —————	
Kedalaman 0-20 cm			
Kompos <i>Crotalaria</i> sp.	0,67	38,9	33,5
Kompos sekam	0,58	44,1	42,5
Kompos jerami	0,67	42,9	40,2
Pupuk kandang	0,84	34,8	33,2
Tanpa bahan organik	0,99	34,1	31,3
Kedalaman 20 – 40 cm			
Kompos <i>Crotalaria</i> sp.	0,94	33,1	31,0
Kompos sekam	0,77	37,8	36,5
Kompos jerami	0,84	33,5	33,0
Pupuk kandang	1,10	31,1	28,7
Tanpa bahan organik	1,11	28,6	27,3

Sumber: Indrawati (1998)

Berdasarkan asal bahan yang digunakan, bahan pembenah tanah dikelompokkan menjadi dua, yaitu bahan pembenah tanah alami dan sintetis. Bahan pembenah tanah alami adalah bahan pembenah tanah yang berasal dari tumbuhan atau hewan yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat fisik tanah, sedangkan bahan pembenah tanah sintetis adalah bahan pembenah tanah yang diproduksi secara sintesa dari bahan-bahan organik ataupun mineral yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat fisik tanah. Pembenah tanah organik adalah pembenah tanah alami ataupun sintetis yang sebagian besar berasal dari bahan organik yang berasal dari tumbuhan atau hewan yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat fisik tanah. Sedangkan pembenah tanah mineral adalah pembenah tanah alami ataupun sintetis yang sebagian besar berasal dari bahan anorganik (mineral) yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat fisik tanah. Bahan pembenah tanah organik maupun mineral ini dapat berwujud padat dan cair.

Beberapa contoh jenis dan nama dagang bahan pembenah tanah yang telah dikenal sejak diperkenalkan tahun 1951 disajikan pada Tabel 10. Beberapa jenis lainnya antara lain adalah *Polyvinil alcohol, urethanised (PVAu), Polyvinylpyrrolidone (PVP), Polyethyleglycol (PEG), Potassium polystyrenesulphonate (PS), Polyvinylacetate (PVAc), Polyurethane, Polybutadiene (BUT), dan Polysiloxane.*

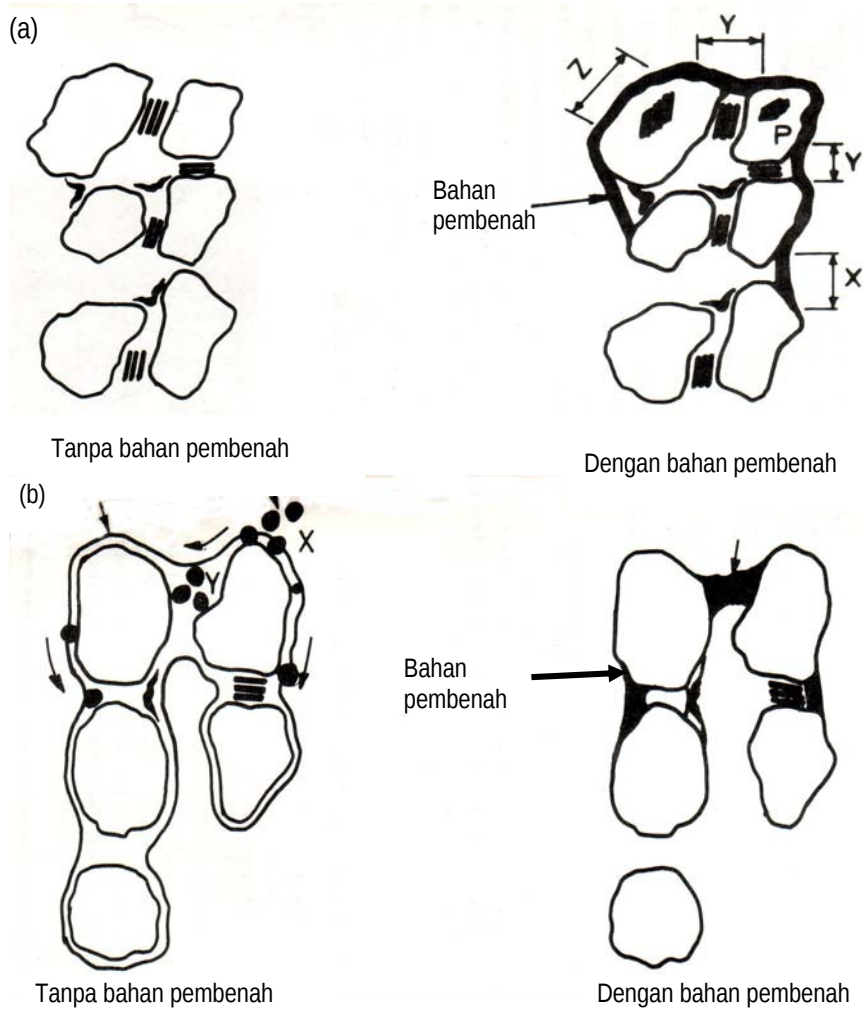
Bahan pembenah tanah pertama kali diperkenalkan pada tahun 1951 dengan dipasarkannya krilium oleh perusahaan kimia Monsanto. Krilium merupakan merek dagang untuk bahan-bahan seperti *hydrolized polyacrylonitrile* (garam sodium), *carboxylated polymer* (garam kalsium).

Tabel 10. Beberapa jenis dan nama dagang bahan pembenah tanah (*soil conditioner*)

Tahun diperkenalkan	Nama pembenah tanah	Jenis
1950-1960	VAMA (<i>maleic anhydride-vinyl acetate copolymers</i>)	Organik
	HPAN (<i>partly hydrolyzed polyacrilonitril</i>)	Anorganik
	SPA (<i>sodium polyacrylate</i> dan garam lainnya)	Anorganik
	PAAm (<i>Polyacrylamide</i> dalam banyak kombinasi, kemudian dikenal dengan PAM)	Anorganik
	PVA (<i>Polyvinylalcohol</i> dalam banyak kombinasi)	Organik
Setelah 1960	Emulsi aspal (Bitumen: hydrfobik dan hidrofilik)	Anorganik
	Lateks	Organik
	Agri-SC-Poly-DADMAC (<i>Poly-diallyi dimethy lammonium cloride</i>)	Anorganik
	PG (<i>phosphogypsum</i>)	Anorganik
	Marga flor	-
Masih dalam penelitian	Vinase	-
	SGP (<i>starch graft polymer</i>	Organik
	Blotong (limbah pengolahan tebu)	Organik
	SKL (sari kering limbah)	Organik

Sumber: Sutono dan Abdurachman (1997) dengan modifikasi

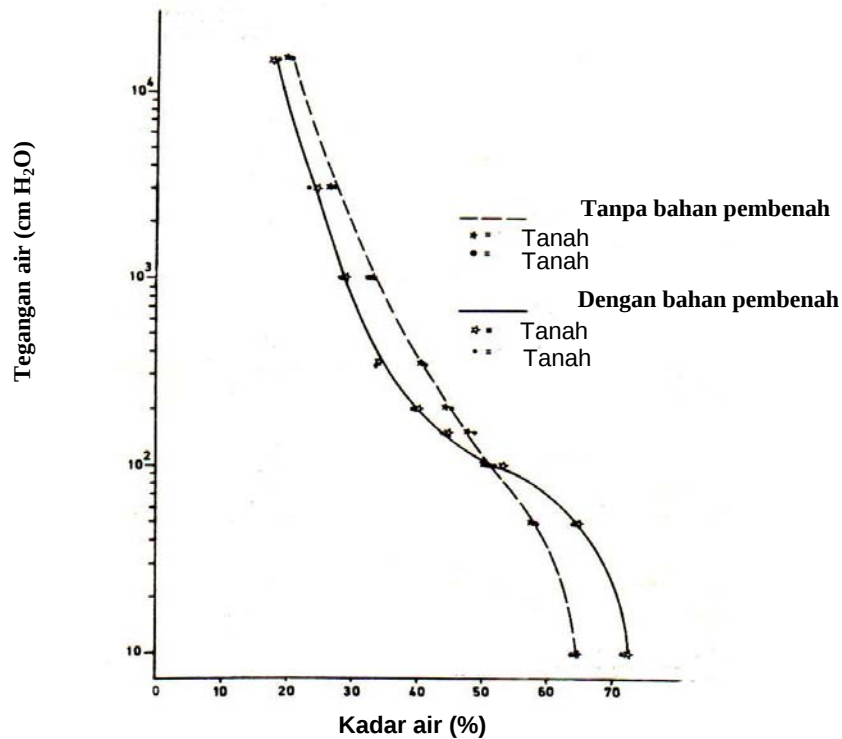
Bahan pembenah tanah digunakan untuk pemantap agregat tanah, sehingga mengurangi risiko erosi, meningkatkan kapasitas tanah menahan air (*water holding capacity*) karena bahan ini memiliki sifat yang mampu merubah sifat hidrofobik atau hidrofilik, dan mampu meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) tanah (Arsyad, 2000). Secara teoritis Gabriels dan De Boodt (1972) mengilustrasikan proses pemantapan agregat tanah oleh pengaruh bahan pembenah tanah. Jika bahan pembenah tanah digunakan pada lahan dengan permukaan tanah yang kering, maka seluruh permukaan partikel tanah akan terselaputi dan hanya sebagian kecil yang masuk ke lapisan tanah yang lebih dalam. Namun jika bahan pembenah tanah diaplikasikan pada tanah yang basah, setelah tanah tersebut kering, maka bahan pembenah tanah akan terpenetrasi di antara partikel tanah dan mengikat partikel satu dengan yang lainnya (Gambar 4). Dari hasil penelitiannya di kebun percobaan Fakultas Pertanian, Universitas Cairo, Mesir, Hartman dan Verplancke (1976) melaporkan bahwa bahan pembenah tanah mampu meningkatkan kapasitas tanah menahan air (Gambar 5). Peningkatan kapasitas tanah menahan air (*water holding capacity*) melalui pemanfaatan bahan pembenah tanah akan memberikan peluang untuk memperpanjang ketersediaan air. Bahan pembenah tanah umumnya tidak berpengaruh langsung pada pertumbuhan tanaman. Dari penelitiannya di Desa Terong, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) pada tanah Mediteran, Abdurachman dan Undang Kurnia (1983) melaporkan bahwa bahan pembenah tanah *polyacrilamide* (PAM) tidak meningkatkan pertumbuhan tanaman jambu mete.



Gambar 4. Aplikasi bahan pembenah tanah (*soil conditioner*) pada tanah (a) kering dan (b) basah (Gabriels dan De Boodt, 1972 dengan modifikasi)

Keuntungan dari pemanfaatan bahan pembenah tanah adalah (a) kebutuhan air irigasi dapat dikurangi karena meningkatnya kapasitas tanah menahan air; (b) meningkatkan ketersediaan air bagi tanaman; (c) meningkatkan kapasitas tanah menahan hara terlarut dalam air (*dissolved nutrients*); (d) memperbaiki aerasi tanah karena struktur tanah diperbaiki; dan (e) mengurangi biaya pemberian air irigasi karena air tertahan lebih lama dan ketersediaan air meningkat.

Dalam implementasinya, bahan pembenah tanah masih belum populer terutama bahan pembenah tanah sintetis. Bahan organik banyak diaplikasikan ke lahan pertanian sebagai bahan pembenah tanah, meskipun dalam banyak hal penerapan bahan organik ini lebih dimaksudkan untuk menyuburkan tanah. Hal ini karena dalam sistem usaha tani selalu ada sisa tanaman ataupun kotoran hewan yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan organik, walaupun umumnya masih jauh dari mencukupi.



Gambar 5. Pengaruh polyacrylamide (PAM) terhadap peningkatan kapasitas tanah menahan air (Hartman and Verplancke,1976 dengan modifikasi)

Pengendalian penguapan (evaporasi)

Aplikasi mulsa

Mulsa adalah bahan-bahan (sisa-sisa panen, plastik dan lain-lain) yang disebar atau digunakan untuk menutup permukaan tanah (Gambar 6). Dari segi konservasi air, mulsa digunakan untuk mengurangi penguapan (evaporasi), melindungi tanah dari pukulan langsung butir-butir hujan, sehingga mengurangi

kepadatan tanah, dan kapasitas infiltrasi menjadi lebih besar. Mulsa dapat disediakan di areal pengelolaan maupun didatangkan dari luar lahan pengelolaan berupa sisa-sisa panen, hasil pangkasan tanaman, plastik dan lain-lain. Pemberian mulsa yang bahannya dari luar lahan pengelolaan lebih sulit diterapkan, karena memerlukan tenaga untuk mengumpulkan dan mengangkut bahan organik tersebut.



Foto : Abdurachman Adi & Sutono

Foto : K. Subagyono

Gambar 6. Aplikasi mulsa pada pertanaman jagung dan cabai

Mulsa sisa tanaman dapat diberikan dengan jalan menyebarkannya secara merata di permukaan tanah. Mulsa tersebut selain dapat melindungi tanah dari daya rusak butir-butir hujan serta mengurangi aliran permukaan, memelihara kelembapan tanah, serta mengurangi evaporasi dari permukaan tanah, juga merupakan sumber bahan organik dan unsur hara bagi tanaman. Bahan mulsa yang baik adalah bahan yang sukar melapuk seperti jerami padi, jagung, dan atau rumput hasil penyiangan. Mulsa yang ditumpuk pada suatu selokan menurut garis kontur (*slot mulch* atau mulsa vertikal) berfungsi menahan air, sehingga laju aliran air di permukaan berkurang.

Rotasi atau tumpang gilir tanaman pokok dengan tanaman legum penutup tanah akan meningkatkan penyediaan bahan organik sebagai mulsa. Tanaman legum yang dapat digilirkan, antara lain adalah benguk (*Mucuna* sp.), kacang tunggak, dan lain-lain. Tanaman-tanaman tersebut relatif toleran terhadap kekeringan. Bahan organik dapat ditambahkan ke dalam tanah sebagai mulsa atau ditanamkan di dalam lapisan olah sebagai pupuk hijau. Irianto et al. (1993); Suwardjo et al. (1989); dan Undang Kurnia (1996) melaporkan bahwa bahan hijau *Flemingia congesta*, *Mucuna* sp., dan sisa-sisa tanaman serta pupuk kandang dapat memperbaiki sifat fisik tanah (Tabel 11).

Tabel 11. Pengaruh pemberian mulsa dari jenis legume yang berbeda terhadap perbaikan sifat fisik tanah Ultisol di Pekalongan, Lampung, dan Jasinga Bogor

Lokasi/sumber	Perlakuan	Sifat fisik tanah			
		Berat isi	Pori aerasi	Permeabilitas	Stabilitas agregat
		g cm ⁻³	% vol	cm jam ⁻¹	
Ultisol, Pekalongan, Lampung (Irianto <i>et al.</i> , 1993)	Tanpa mulsa	1,36	18	3,62	-
	Diberi mulsa <i>F. congesta</i>	1,30	20	4,04	-
	Kontrol	0,91	17	-	47
Ultisol, Jasinga, Bogor, Jawa Barat (Undang Kurnia, 1996)	Mulsa jerami + sisa tanaman	0,87	22	-	56
	Mulsa <i>Mucuna</i> sp.	0,88	21	-	50
	Pupuk kandang	0,89	21	-	48

Keterangan: - = tidak diamati

Hasil penelitian Sudirman dan Abdurachman (1981) menunjukkan bahwa penggunaan jerami 5 t ha⁻¹ sebagai mulsa dapat meningkatkan berat kering tanaman ± 63% serta mengurangi pemakaian air hingga 30%. Selanjutnya Tala'ohu *et al.* (2003) melaporkan bahwa pemberian mulsa sisa tanaman 5 t ha⁻¹ pada tanah *Plintic Hapludox* dapat menghemat air selama 2,5 hari dibandingkan dengan tanpa pemberian mulsa. Ini menunjukkan bahwa pemberian mulsa yang disebar di permukaan tanah cukup efektif dalam menunjang pemanfaatan air secara efisien di lahan kering.

Tanaman penutup tanah

Tanaman penutup tanah adalah tanaman yang ditanam tersendiri pada saat lahan tidak ditanami tanaman pokok atau ditanam bersama-sama dengan tanaman pokok (Gambar 7). Fungsi dari tanaman penutup adalah:

1. Memperbaiki dan mempertahankan sifat-sifat fisik dan kimia tanah melalui penambahan bahan organik.
2. Mengurangi penguapan (evaporasi).
3. Memberantas tanaman pengganggu (gulma).

Berdasarkan habitat pertumbuhannya, tanaman penutup tanah digolongkan menjadi empat yaitu:

- (a) Tanaman penutup tanah rendah, seperti *Centrosema pubescens*, *Pueraria javanica*, *Mucuna* sp. (benguk), *Dolicos lab-lab* (komak).

- (b) Tanaman penutup tanah sedang, seperti *Leucaena leucosephala* (lamtoro) dan *Gliricidia sepium*.
- (c) Tanaman penutup tanah tinggi, seperti *Albizia falcataria* (sengon).
- (d) Belukar alami.

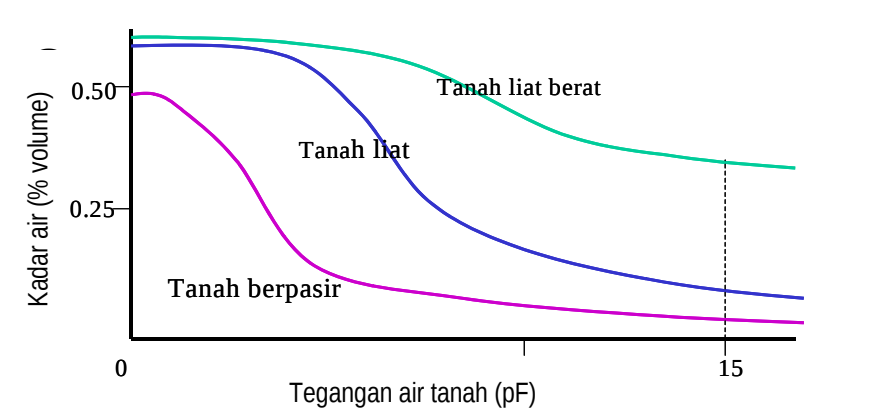


Gambar 7. Tanaman penutup tanah *Arachis pintoi* pada pertanaman lada di Lampung Utara (Foto: K. Subagyono)

PEMANFAATAN AIR YANG EFISIEN

Upaya konservasi air tidak akan memiliki kontribusi secara signifikan dalam peningkatan produktivitas lahan, jika pemanfaatan air yang dilakukan boros. Oleh karena itu, upaya konservasi air harus disertai dengan pemanfaatan air secara efisien. Pemanfaatan air secara efisien perlu dikaitkan dengan kebutuhan air tanaman dan dinamika perubahan kelengasan tanah. Jumlah hari kering berturut-turut selama MT merupakan indikator yang berguna dalam menentukan apakah tanaman akan mengalami cekaman air atau tidak. Periode tanpa hujan selama 7 hari atau lebih dapat menyebabkan terganggunya tanaman, terutama pada awal pertumbuhan tanaman yang akarnya hanya terbatas pada beberapa sentimeter di lapisan permukaan tanah. Tanaman padi gogo akan sangat terganggu pertumbuhannya apabila mengalami cekaman air tanah pada kadar air tanah >50% dari kadar air kapasitas lapang selama 10 hari berturut-turut pada awal pertumbuhan atau pada fase pembungaan.

Jumlah air irigasi yang diberikan ditetapkan berdasarkan kebutuhan tanaman, dinamika kelengasan tanah dimana kemampuan tanah memegang air berperan sangat penting, serta sarana irigasi yang tersedia. Kemampuan tanah memegang air perlu diperhitungkan, karena pemberian air yang berlebihan hingga melebihi kemampuan tanah memegang air, menyebabkan air akan mengalir sebagai aliran permukaan atau masuk ke dalam lapisan tanah yang lebih dalam melalui perkolasi. Tanah yang bertekstur halus dan berstruktur remah lebih mampu menahan air sesudah pori aerasinya kosong dari air, dan tanah liat berat menyimpan lebih banyak air, namun sulit melepaskannya untuk tanaman. Kurva karakteristik air tanah (*soil water characteristic curve*) untuk tanah bertekstur liat berat, tanah bertekstur liat sampai lempung, dan tanah bertekstur pasir disajikan pada Gambar 8. Dari ketiga tekstur tersebut, tanah berpasir akan memerlukan air irigasi lebih banyak, karena kemampuan memegang airnya rendah.



Gambar 8. Kurva karakteristik air tanah untuk tanah berstruktur masif (liat berat), tanah liat berstruktur remah, dan tanah berpasir (Agus *et al.*, 2002)

Ada tiga aspek penting dalam pemanfaatan air secara efisien melalui irigasi, yaitu (1) jumlah air yang diberikan; (2) waktu pemberian; dan (3) cara pemberian. Jumlah air yang diberikan dapat didasarkan pada beberapa skenario. Hasil penelitian menunjukkan pemberian air irigasi <20 mm setiap 5 hari pada MK belum mampu mengimbangi kehilangan dan penggunaan air oleh tanaman, sehingga akan mengakibatkan terjadinya cekaman air pada tanaman. Sebaliknya, apabila air irigasi diberikan >20 mm hari⁻¹ akan terjadi pemborosan dan penjenruhan tanah serta peningkatan aliran permukaan. Pemberian air irigasi sejumlah 20 mm hari⁻¹ dengan periode waktu 5 harian (pemberian dilakukan satu kali dalam 5 hari) merupakan pilihan yang terbaik (Irianto, 2000).

Beberapa alternatif sistem irigasi yang dapat diterapkan untuk memanfaatkan air secara efisien adalah (a) irigasi tetes (*drip irrigation*); (b) irigasi sprinkler (*sprinkler irrigation*); dan (c) irigasi bawah permukaan tanah (*sub-surface irrigation*).

Irigasi tetes (drip irrigation)

Di dalam sistem irigasi tetes (Gambar 9), air diberikan melalui lubang-lubang (*emitters*) yang mampu melalukan air 2-8 l jam⁻¹. Assouline (2002) melaporkan bahwa irigasi tetes mampu mengurangi dinamika perubahan kelengasan tanah selama siang hari pada zona perakaran tanaman.

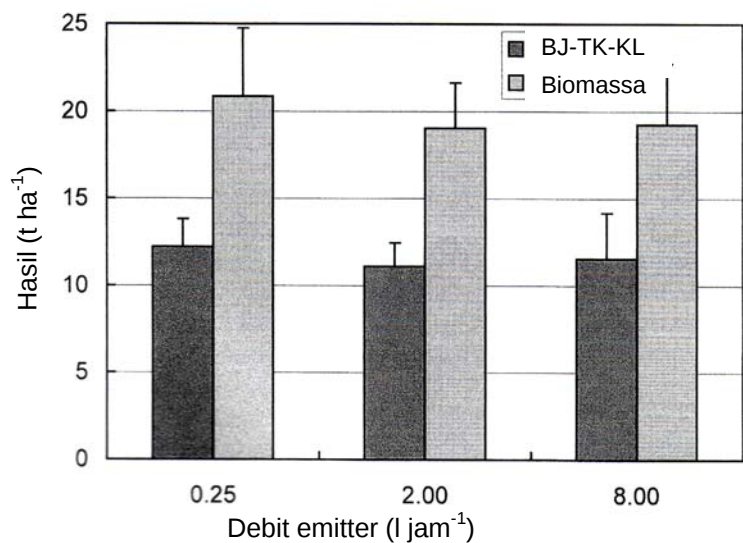


Gambar 9. Sistem irigasi tetes untuk pengembangan tanaman cabai di kebun percobaan (KP) Taman Bogo, Lampung Timur (Foto: F. Agus)

Penerapan irigasi tetes memiliki beberapa keuntungan, yaitu efisiensi pemanfaatan air tergolong tinggi, membutuhkan sedikit upaya perataan lahan (*land leveling*), dapat mengaplikasikan pupuk bersamaan dengan irigasi, dan umumnya produksi tanaman yang dihasilkan seragam. Namun demikian, penerapan sistem irigasi ini membutuhkan investasi yang relatif tinggi, pencucian garam relatif lambat, sehingga tanah sangat mudah menjadi salin dan memerlukan pengelolaan yang relatif rumit.

Pengaruh pemberian air melalui sistem irigasi tetes sangat ditentukan oleh debit air melalui *emitters*. Dari hasil penelitiannya mengenai pengaruh debit *emitters* 0,25; 2,0; dan 8,0 l jam⁻¹ pada tanaman jagung (*Zea mays* L.), Assouline

(2002) melaporkan bahwa hasil jagung tertinggi dicapai pada lahan yang diirigasi tetes dengan debit 0,25 l jam⁻¹ (Gambar 10). Pada debit tersebut, distribusi air merata pada kedalaman 0,30 m, sedangkan kondisi tanah lapisan dibawahnya (0,60-0,90 m) kering. Makin tinggi debit air, makin luas juga distribusi airnya dan pada perlakuan yang dicobakan, zona jenuh air di bawah *emitter* terjadi pada debit 8,0 l jam⁻¹.



Keterangan: BJ+TK+KL = berat biji kering + tongkol + kulit
Gambar 10. Pengaruh debit *emitter* terhadap hasil jagung (Assouline, 2002)

Irigasi *sprinkler* (sprinkler irrigation)

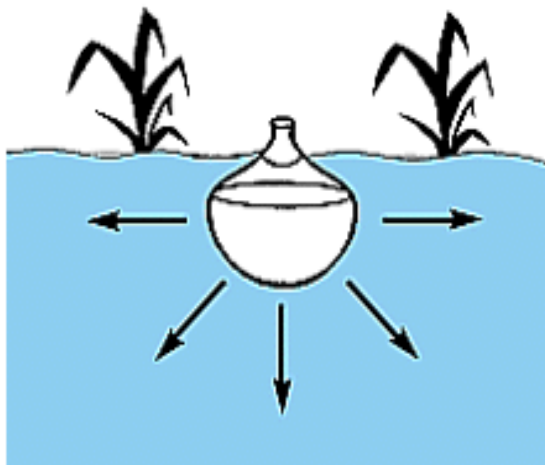
Pada sistem *sprinkler* (Gambar 11) air disebarkan ke tanah dengan menggunakan sistem tekanan atau pompa. Sistem ini merupakan suatu usaha membuat hujan buatan. Besar butiran air, keseragaman dan sebagainya ditentukan sekali oleh rancangan alat. Sistem ini ada yang tetap berada pada suatu tempat (*set system*) pada tanah, sehingga satu sistem mengairi areal yang sama di sekelilingnya. Ada pula sistem yang disebut dengan *mobile system*, yaitu *sprinkler* senantiasa dipindahkan dengan mobil atau dengan tenaga manusia dari satu tempat ke tempat lain.



Gambar 11. Sistem irigasi sprinkler untuk pengembangan tanaman cabai di KP. Taman Bogo, Lampung Timur (Foto: K. Subagyono)

Irigasi bawah permukaan tanah (sub-surface irrigation)

Irigasi bawah permukaan tanah dimaksudkan untuk memperkecil kehilangan air melalui evaporasi, dan memberikan peluang air irigasi membasahi zona perakaran tanpa melalui proses infiltrasi. Sistem irigasi ini dapat dibangun menggunakan pipa-pipa saluran air atau bahan lain seperti kendi (Gambar 12). Penggunaan kendi dalam sistem irigasi ini sangat sederhana, tetapi membutuhkan tenaga kerja yang lebih banyak dibandingkan dengan jika digunakan pipa-pipa.



Gambar 12. Skema penggunaan kendi dalam sistem irigasi bawah permukaan tanah

IMPLEMENTASI TEKNIK KONSERVASI AIR

Pemilihan teknik konservasi air

Tidak semua bentuk teknik konservasi air dapat diterapkan pada setiap kondisi lingkungan. Ada beberapa faktor pembatas lingkungan yang perlu diperhatikan dalam menentukan teknik konservasi air yang akan diterapkan. Kesalahan penerapannya akan berakibat bukan hanya pada tidak efektifnya suatu teknologi konservasi air, tetapi juga meningkatkan biaya dan menurunnya produktivitas lahan.

Beberapa faktor pembatas yang harus diperhatikan dalam menentukan teknik konservasi air yang akan diterapkan adalah:

Iklm (curah hujan)

Curah hujan yang utama menentukan dalam memilih teknik konservasi air adalah sifat hujannya yang menyangkut jumlah, intensitas dan distribusi (ruang dan waktu). Jumlah hujan menentukan volume dari hujan yang harus dikonservasi, yang selanjutnya menentukan dimensi teknologi konservasi air yang akan diterapkan. Intensitas hujan menentukan jenis teknik konservasi air yang dipilih, sedangkan distribusi curah hujan berkaitan dengan lokasi dan waktu teknik tersebut diterapkan. Pada lokasi dengan curah hujan tinggi (iklim basah), teknik konservasi air diarahkan untuk memanen hujan dan/atau aliran permukaan, sedangkan pada lokasi dengan curah hujan rendah (iklim kering), teknik konservasi air selain diarahkan untuk memanen air hujan juga lebih diarahkan untuk menanggulangi kehilangan air melalui evaporasi.

Kemiringan lahan

Kemiringan lahan merupakan faktor penting di dalam memilih teknik konservasi air, karena semakin besar kemiringan lahan maka laju aliran permukaan makin cepat; dan daya kikis dan daya angkut air aliran permukaan makin kuat dan cepat. Oleh karena itu, strategi konservasi air pada lahan berlereng adalah memperlambat laju aliran permukaan dan memperpendek

panjang lereng untuk memberikan kesempatan lebih lama pada air meresap ke dalam tanah.

Kedalaman efektif tanah

Kedalaman efektif tanah adalah kedalaman tanah diukur dari permukaan sampai sejauh mana akar tanaman dapat menembus tanah, sedangkan kedalaman solum adalah ketebalan tanah di atas bahan induk tanah (horizon A dan B). Pada tanah yang bersolum dalam atau mempunyai kedalaman efektif yang dalam, hampir semua teknik konservasi air dapat diterapkan, sedangkan pada tanah-tanah bersolum tipis, perlu dipilih teknik konservasi air yang tidak banyak membongkar atau menyingkap tanah.

Tekstur tanah

Tekstur tanah erat hubungannya dengan kemampuan tanah menahan air (Tabel 6), dan pergerakan air di dalam profil tanah yang menyangkut infiltrasi, permeabilitas, dan perkolasi. Hal tersebut akan berpengaruh terhadap jenis dan dimensi teknik konservasi air yang akan dipilih dan diterapkan. Pada tanah yang mempunyai tekstur kasar (banyak mengandung pasir), sebaiknya dipilih teknik konservasi air yang dapat meningkatkan agregasi tanah, sehingga kapasitas tanah untuk memegang air dapat ditingkatkan, misalnya pemberian bahan organik atau bahan pembenah tanah (*soil conditioner*) atau penanaman tanaman penutup tanah yang dapat mensuplai bahan organik setempat (*in situ*). Pada tanah yang bertekstur berat (banyak mengandung liat) dipilih teknik konservasi air yang memberikan kesempatan pada air untuk meresap lebih lama ke dalam tanah, misalnya saluran peresapan, rorak, teras dan lain-lain.

Selain faktor biofisik tersebut, faktor sosial ekonomi dan budaya petani juga berpengaruh terhadap pemilihan teknik konservasi air, karena meskipun suatu teknik konservasi air cocok diterapkan menurut kondisi biofisik, belum tentu dapat diterapkan apabila petani tidak mampu melaksanakan dan/atau tidak sesuai dengan budaya setempat. Dalam menghadapi keadaan sosial ekonomi dan budaya petani yang sangat beragam dari suatu tempat ke tempat lain, perlu didekati melalui suatu proses perencanaan yang matang. Pendekatan partisipatif merupakan alternatif yang dapat dikembangkan.

Aplikasi teknik konservasi air terpilih

Upaya konservasi air perlu diintegrasikan kedalam setiap kegiatan usaha tani, dan untuk lebih mengefektifkannya perlu dilaksanakan secara bersama-sama dalam suatu hamparan yang luas, misalnya skala DAS. Oleh sebab itu, sangat diperlukan koordinasi antar-instansi terkait dan peran aktif dari masyarakat tani.

Dalam sosialisasi teknik konservasi air yang melibatkan masyarakat tani, maka upaya-upaya yang dapat dilakukan adalah (a) meningkatkan kesadaran masyarakat tani akan pentingnya konservasi air dan pemeliharaan sumber daya alam; (b) meningkatkan pengetahuan, keterampilan dan wawasan tentang manfaat konservasi air, baik kepada petugas lapangan, petani, serta lembaga penunjang yang ada di daerah; (c) mengatasi masalah keterbatasan modal petani melalui kredit usaha tani konservasi (KUK) dengan mengoptimalkan sistem monitoring maupun evaluasi serta transparansi; (d) perlu adanya kekuatan hukum yang mengatur hak dan kewajiban antara petani penggarap/penyakap dengan petani pemilik lahan dalam kaitannya dengan sosialisasi konservasi air; dan e) orientasi usaha tani berbasis agribisnis dalam menunjang keberlanjutan, perbaikan mutu hidup dan kesejahteraan petani (Sukmana, 1996).

Dalam implementasi teknik konservasi air, selain pemerintah maka peran aktif dari masyarakat tani baik pria maupun wanita, dan kelembagaan penunjang hendaknya dimulai sejak awal perencanaan, pemilihan teknologi, dan penerapannya, untuk menjaga keseimbangan serta keberlanjutan sistem usaha tani. Pilihan teknik konservasi air disesuaikan dengan kondisi biofisik maupun kebutuhan masyarakat tani. Melalui optimasi peran serta masyarakat, maka campur tangan pemerintah lebih dititikberatkan pada aspek penyuluhan, pelatihan, dan sebagai fasilitator.

Pengalaman menunjukkan bahwa implementasi teknologi konservasi air (dan tanah) akan terjamin keberlanjutannya jika diintegrasikan dengan ternak (Watung *et al.*, 2003; Subagyo *et al.*, 2004). Dalam sistem yang demikian, konservasi air (dan tanah) secara vegetatif memegang peran penting, dimana tanaman konservasi yang dipilih adalah jenis tanaman pakan ternak seperti rumput dan legum. Kotoran ternak dan sisa-sisa tanaman hasil pangkasan dari tanaman konservasi dapat dikembalikan ke tanah untuk meningkatkan kandungan bahan organik.

Keberlanjutan penerapan teknologi pengelolaan air tidak mungkin dapat tercapai dengan baik tanpa partisipasi dan pemberdayaan kelembagaan petani. Kondisi sosial ekonomi petani perlu dibangun secara bersamaan, dan di negara berkembang tantangan untuk membangun berbagai sistem sosial ekonomi dan kelembagaan ini cukup berat. Tidak cukupnya sumber daya manusia yang terlatih dan rendahnya tingkat manajemen merupakan kendala utama pengembangan inovasi teknologi konservasi dan pemanfaatan air.

Beberapa alternatif teknik konservasi air serta persyaratan, kegunaan dan kendala penerapannya disajikan pada Tabel 12.

Analisis ekonomi teknik konservasi air

Pembuatan bangunan konservasi air dapat mengurangi areal tanam efektif sebagai akibat dari dimensi konstruksi bangunan dengan ukuran tertentu.

Semakin besar kemiringan lahan akan berdampak semakin banyak dan semakin dekat jarak antar barisan bangunan konservasi air. Pengurangan luas lahan efektif tersebut akan berdampak terhadap pengurangan pendapatan usaha tani, dan di lain pihak, bangunan konservasi airpun memerlukan biaya untuk konstruksi. Irawan *et al.* (2001) mendapatkan bahwa biaya pembuatan rorak untuk 1 ha lahan berkisar antara Rp 600.000,- - Rp 1.500.000,- sedangkan biaya pemeliharaan per tahun adalah Rp 150.000,- - Rp 500.000,- tergantung dari kemiringan lahan (Tabel 13). Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa apabila biaya investasi pembuatan bangunan konservasi air dibebankan kepada petani, maka petani akan merugi. Oleh sebab itu, bantuan finansial dari pemerintah guna sosialisasi penerapan teknik konservasi air di tingkat petani merupakan salah satu solusi yang dapat ditempuh. Nampak bahwa teknik konservasi air baru memberikan tambahan pendapatan usaha tani setelah tahun ketiga.

Tabel 12. Pilihan teknik konservasi air, persyaratan, kegunaan, dan kendala penerapannya

Teknik konservasi air		Persyaratan	Kegunaan	Kendala penerapan
(1)		(2)	(3)	(4)
Saluran peresapan		- Tanah bertekstur berat, sehingga infiltrasi dan permeabilitasnya lambat - Tersedia tenaga kerja dan biaya untuk pembuatan dan pemeliharaan	- Memberikan kesempatan kepada air untuk meresap lebih lama - Mengendalikan kecepatan aliran permukaan agar melaju dengan kecepatan yang tidak merusak - Mengarahkan aliran permukaan agar tidak merusak bagian yang tidak diinginkan	- Pada lahan yang sempit, petani tidak berminat, karena mengurangi lahan yang biasa ditanami - Menambah tenaga kerja/biaya
Rorak, jebakan sedimen, sumur resapan, <i>gully plug</i> , terjunan (<i>drop structure</i>), embung, kedung		- Tersedia tenaga kerja dan biaya untuk pembuatan dan pemeliharaan - Bahan yang digunakan cukup tersedia	- Menurunkan kecepatan dan volume air aliran permukaan, menekan laju erosi, dan sedimentasi - Meningkatkan simpanan air tanah sehingga fluktuasi debit maksimum dan minimum menurun - Memperpanjang musim tanam karena air tanah tersedia lebih lama	- Umumnya biaya pembuatan tinggi sehingga tidak terjangkau oleh petani atau memerlukan bantuan pemerintah untuk pembuatan - Mengurangi luas lahan - Perlu disertai dengan teknik efisiensi penggunaan air
Mulsa vertikal		- Bahan mulsa cukup tersedia - Tidak terdapat kontradiksi kepentingan misalnya antara konservasi dan ternak	- Memberikan kesempatan kepada air untuk meresap - Menampung sedimen - Memelihara kelembapan tanah secara vertical dan horizontal - Memberikan kondisi yang baik untuk kehidupan mikroorganisme tanah	- Mulsa kurang tersedia - Ada kontradiksi kepentingan , misalnya antara aplikasi teknik konservasi dan ternak
Embung		- Tanah bagian bawah (<i>sub soil</i>) cukup kedap air (bertekstur berat) - Lahan cukup luas/tersedia - Tersedia biaya dan tenaga kerja untuk pembuatan dan pemeliharaan	- Menampung air aliran permukaan, sehingga tidak mengalir ke tempat yang tidak diinginkan - Menyediakan kebutuhan air untuk tanaman terutama pada MK - Memperpanjang masa tanam - Untuk budi daya perikanan - Mengalirkan air aliran permukaan dari bidang olah ke SPA - Meningkatkan kelengasan tanah pada bidang olah	- Terjadi pengurangan luas areal tanaman utama sebesar 5-15% - Perlu biaya yang cukup besar untuk pembuatan dan pemeliharaan
Gulud pemanen air		- Tanah dengan permeabilitas dan kapasitas infiltrasi yang tinggi - Sesuai untuk lahan dengan lereng 10-40% - Diperlukan SPA untuk mengalirkan aliran permukaan ke sungai	Meningkatkan kelengasan tanah pada bidang olah	Apabila rumput penguat gulud belum tumbuh sempurna, guludan tidak stabil sehingga mudah dihanyutkan oleh air aliran permukaan saat hujan lebat
Pemberian mulsa		Bahan mulsa cukup tersedia di lokasi misalnya dari tanaman legum yang digilirkan dengan tanaman pangan atau yang ditanam pada strip sejajar kontur, atau sisa panen	- Memperbaiki struktur tanah - Meningkatkan produksi tanaman - Menekan pertumbuhan gulma - Mengurangi penguapan (evaporasi)	- Jika bahan mulsa tidak cukup, sehingga penutupannya kurang, dapat merangsang pertumbuhan gulma - Kadang-kadang dapat menjadi sarang hama/penyakit tanaman - Petani lebih suka melihat lahannya bersih
Tanaman penutup tanah (<i>Paspalum notatum</i> , <i>Panicum maximum</i> , <i>Brachiaria decumbens</i> , <i>Arachis pentoil</i>)		- Ditanam pada bibir, tampingan teras, menurut strip sejajar kontur, atau ditanam sebagai tanaman penutup di lahan perkebunan. - Petani beternak ruminansia - Perlu diusahakan agar semua petani di dalam satu desa atau sekurang-kurangnya dalam satu kelompok ikut menanam	- Menurunkan erosi sampai seperempat dari erosi pada plot kontrol (Swardjo and S. Abujamin, 1983) - Sumber pakan - Memberikan proteksi terhadap erosi dan aliran permukaan - Sumber bahan organik/bahan mulsa	- Terjadi pengurangan luas areal tanaman utama sebesar 5-15% - Dapat menyaingi tanaman pokok - Perlu biaya pemeliharaan
Tanaman kayu-kayuan dan <i>multi purpose tree species</i> (MPTS)		Status pemilikan tanah tetap atau adanya hak guna usaha yang cukup lama (> 10 tahun)	- Memberi proteksi jangka panjang - Sumber pendapatan dan devisa - Daun dan ranting yang jatuh merupakan sumber bahan organik setelah terdekomposisi - Sumber kayu bakar - Sumber bibit	- Bila tiba saat penebangan tanaman kayu-kayuan, maka lahannya kembali terbuka - Setelah ditebang, perlu biaya untuk penanaman kembali

Sumber: Dimodifikasi dari Agus *et al.* (1997) dan Agus *et al.* (1999)

Tabel 13. Analisis investasi pembuatan rorak pada usaha tani lahan kering di Wates, Yogyakarta, 2000

Periode analisis	Indikator analisis		Net B/C	Keterangan
	NPV	IRR		
	Rp.	%		
5 tahun	1.223.727	94,3	3,1	Layak
4 tahun	844.658	85,6	2,4	Layak
3 tahun	266.605	63,5	1,7	Layak
2 tahun	-55.404	10,4	0,9	Tidak layak

Sumber: Irawan et al. (2001)
NPV: net present value; IRR: internal rate of return

Kelembagaan

Pendekatan hampan

Upaya konservasi air akan kehilangan maknanya apabila diterapkan pada lahan sempit, misalnya sebatas satu atau dua pemilikan lahan. Contohnya, apabila pada suatu DAS, teknik konservasi air dilakukan pada 30% dari luas lahan, maka kontribusi dari 30% DAS ini belum akan mampu mengatasi kelebihan air pada MH maupun kekurangan air pada saat dibutuhkan untuk menunjang pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang diusahakan. Oleh sebab itu, teknik konservasi air harus mencakup suatu hampan. Ini berarti bahwa, melalui pendekatan hampan, perencanaan konservasi air tidak terbatas pada lahan pertanian saja, namun juga mencakup konservasi saluran drainase, SPA, tebing jalan, tebing sungai, dan lain-lain.

Pendekatan partisipatif

Salah satu faktor penghambat dalam implementasi teknologi konservasi air adalah masih terbatasnya adopsi petani terhadap paket teknologi yang diperkenalkan. Penyebab utama rendahnya adopsi ini adalah karena petani tidak merasa ikut merencanakan dan tidak mengerti, sehingga tidak merasa memiliki kegiatan yang mereka lakukan. Untuk itu petugas harus mampu mengadakan pendekatan partisipatif dengan petani, sehingga petani merasa memiliki kegiatan konservasi air tersebut. Istilah *farmers participation* atau partisipasi petani sudah banyak digunakan, akan tetapi istilah ini sering disalahgunakan. Pada pelaksanaan di lapangan terdapat beberapa bentuk pendekatan partisipatif:

1. *Manipulatif* atau *passive participation*, yaitu apabila petugas datang kepada petani dan meminta petani untuk menerapkan suatu teknik konservasi air. Dengan mendatangi petani, petugas merasa telah melakukan suatu pendekatan partisipatif, tetapi sesungguhnya pendekatan yang demikian

belum merupakan pendekatan yang diinginkan.

2. *Consultative participation*, yaitu apabila petugas datang kepada petani untuk memberikan suatu penjelasan tentang teknik konservasi air yang diperkenalkan. Tanpa menggali apa kendala untuk penerapan teknik tersebut, petugas beranggapan bahwa dia sudah menjalankan pendekatan partisipatif.
3. *Interactive participation* adalah merupakan bentuk ideal dari pendekatan partisipatif. Petugas dengan tampilan yang tidak terlalu beda dibandingkan dengan petani mencoba memahami apa yang dilakukan petani dan apa masalah yang dihadapi petani di dalam usaha taninya. Berdasarkan keterangan dari petani, petugas menerangkan beberapa alternatif pemecahan masalah, lalu meminta umpan balik dari petani apakah alternatif itu mungkin dilaksanakan atau tidak; jika tidak karena alasan apa? Apabila beberapa alternatif yang ditawarkan oleh petugas tidak dapat diterima petani, petugas perlu melihat lagi apakah paket yang ditawarkan cukup pantas ditinjau dari aspek teknis, aspek sosial ekonomi, dan aspek sarana dan prasarana pendukung.

Pendekatan partisipatif yang interaktif dalam pemilihan paket teknologi konservasi air dapat dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Lembaga perencana dan pelaksana menghimpun dan memahami data sumber daya seperti data tanah, iklim, keadaan sosial ekonomi, dan infrastruktur yang ada, dan lain-lain.
2. Petugas melakukan interpretasi data untuk menentukan pilihan paket teknologi konservasi air yang cocok dengan kondisi lingkungan dan sosial ekonomi setempat.
3. Petugas menerangkan kepada petani beberapa alternatif teknik konservasi air yang cocok, termasuk keunggulan dan kelemahan setiap alternatif tersebut. Selain itu, petugas perlu menjelaskan apakah biaya untuk penerapan paket teknologi merupakan tanggung jawab petani, pemerintah atau kerjasama petani dengan pemerintah. Jika gabungan antara petani dengan pemerintah perlu ada suatu perjanjian yang antara lain menyebutkan tentang jumlah, cara penyaluran uang (melalui bank, KUD, dan lain-lain), serta tanggungjawab petani dalam kegiatan kerjasama tersebut.
4. Petani diberi kesempatan untuk mengemukakan tanggapan mereka terhadap alternatif yang diajukan. Informasi yang terpenting dalam tahap ini adalah memahami alasan kenapa petani menyukai atau tidak menyukai suatu paket tertentu.

5. Petani diberi kesempatan untuk mengajukan alternatif lain selain yang diajukan petugas, dan petugas perlu memahami kenapa petani cenderung memilih alternatif tersebut.
6. Petugas dengan petani melakukan kompromi untuk memilih paket konservasi air dan jenis-jenis tanaman yang akan digunakan. Untuk tahap ini, keinginan petani, apabila tidak menimbulkan konsekuensi yang serius terhadap lingkungan, perlu didahulukan.

Pendekatan partisipatif yang interaktif ini merupakan gabungan dari pendekatan *bottom-up* dan *top down*. Untuk dapat melakukan pendekatan partisipatif interaktif petugas perlu bersikap sedemikian rupa, sehingga petani merasa dekat dengan petugas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachman, A., dan Undang Kurnia. 1983. Pengaruh pupuk dan soil conditioner terhadap pertumbuhan tanaman jambu mede. Pembrit. Penel. Tanah dan Pupuk 1: 1-5.
- Abdurachman, A., dan Sutono. 2002. Teknologi pengendalian erosi lahan berlereng. hlm. 103-145 *dalam* Abdurachman, A., Mappaona, dan Arsil Saleh (Eds.) Teknologi Pengelolaan Lahan Kering: Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Agus F., A. Abdurachman, dan Piet van der Poel. 1998. Daerah aliran sungai sebagai unit pengelolaan pelestarian lingkungan dan peningkatan produksi pertanian. hlm. 47-68 *dalam* Prosiding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat: Makalah Review. Cisarua, Bogor, 4-6 Maret 1997. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Agus, F. 2000. Smallholder acid upland soil management in Indonesia. Soil and Environment 3(1): 1-12.
- Agus, F., E. Surmaini, dan N. Sutrisno. 2002. Teknologi hemat air dan irigasi suplemen. hlm. 239- 264 *dalam* Abdurachman et al. (Eds.). Teknologi Pengelolaan Lahan Kering. Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian.
- Arsyad, S. 2000. Konservasi Tanah dan Air. Serial Pustaka IPB Press. IPB Press. 290 hlm.

- Assouline, S. 2002. The effects of microdrip and conventional drip irrigation on water distribution and uptake. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1.630-1.636.
- Brata, K. R. 1995a. Efektivitas mulsa vertikal sebagai tindakan konservasi tanah dan air pada pertanian lahan kering di Latosol Darmaga. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia* 5 (1) : 13-19. Institut Pertanian Bogor.
- Brata, K. R. 1995b. Peningkatan efektivitas mulsa vertikal sebagai tindakan konservasi tanah dan air pada pertanian lahan kering dengan pemanfaatan bantuan cacing tanah. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia* 5 (2): 69 – 75. Institut Pertanian Bogor.
- Erfandi, D., I P.G. Widjaja-Adhi, dan M. Ramli. 1993. Pengelolaan sistem usaha tani lahan masam tropika basah. hlm. 17-28 *dalam* Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bogor, 18-21 Februari 1993. Pusat penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Gabriels, D., and M. De Boodt. 1972. Theoretical and practical approach for determining the optimal moisture content at the moment of soil conditioning. *Mitteilgn. Dtsch. Bodemkundl. Gesellsch* 15: 185-203.
- Goenadi, S. 1993. Usaha konservasi lengas tanah dan watak lengas tanah pada budidaya usaha tebu lahan kering. hlm. *dalam* Lokakarya Nasional Pembangunan Daerah Dalam Rangka Pengelolaan Usaha Tani Lahan Kering dan Perbukitan Kritis. Jakarta, 2 – 4 Februari 1993. Proyek Pertanian Lahan Kering dan Konservasi Tanah. Direktorat Jendral Pembangunan Daerah. Departemen Dalam Negeri.
- Guymon, G.L. 1994. *Unsaturated Zone Hydrology*. PTR Prentice Hall. New Jersey. 210 pp.
- Hartman, R., and H. Verplancke. 1976. Study of the water repellency of soils under citrus trees in Egypt, and means of improvement. p. 201-209. *In* Med. Fac. Landbouww, Rijksuniv. Gent.
- Haryati, U., M. Thamrin, dan Suwardjo. 1992. Evaluasi beberapa model teras pada Latosol Gunasari DAS Citanduy. hlm. 187-195 *dalam* Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah: Bidang Konservasi Tanah dan Air. Bogor, 22-24 Agustus 1989. Puslitbangtanak, Bogor.
- Haryati, U., Haryono, dan A. Abdurachman. 1995. Pengendalian erosi dan aliran permukaan serta produksi tanaman pangan dengan berbagai teknik konservasi pada tanah Typic Eutropepts di Ungaran, Jawa Tengah. *Pembrit. Penel. Tanah dan Pupuk* 13: 40-50.
- Haryono, N. Sutrisno, T. Vadari, dan U. Kurnia. 2000. Pengaruh gulud pemanen air terhadap peningkatan kelembapan tanah pada lahan kering beriklim

- kering. hlm. 275-282 *dalam* Prosiding Kongres Nasional VII HITI. Bandung, 2-4 Nopember 1999. Himpunan Ilmu Tanah Indonesia.
- Hidayat, A., dan A. Mulyani. 2002. Lahan kering untuk pertanian. hlm. 1-34 *dalam* Teknologi Pengelolaan Lahan Kering: Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Indrawati. 1998. Pengelolaan lengas tanah dalam usaha tani lahan kering. hlm.179-186 *dalam* Prosiding Seminar Nasional dan Pertemuan Tahunan Komisariat Daerah Himpunan Ilmu Tanah Indonesia Tahun 1998. Buku 2. Himpunan Ilmu Tanah Indonesia (HITI) Komisariat Daerah (KOMDA) Jawa Timur 1998.
- Irawan, B. Hafif dan H. Suwardjo. 2000. Prospek pengembangan kedung (embung mikro) dalam peningkatan produksi pangan dan pendapatan petani: Studi kasus di desa Selopamioro, Bantul, DI. Yogyakarta. hlm. 21-38 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Sumber Daya Lahan: Buku III. Cisarua-Bogor, 9-11 Februari 1999. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Irawan, M. Suhardjo, T. Vadari, N. Heryani, dan S. Hadi. 2001. Evaluasi teknis dan financial penerapan teknik konservasi air pada lahan kering berlereng di Wates, DI. Yogyakarta. hlm. 305-316 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Reorientasi Pendayagunaan Sumber daya Tanah, Iklim, dan Pupuk: Buku I. Cipayung-Bogor, 31 Oktober – 2 Nopember 2000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Irianto, G., A. Abdurachman, dan I. Juarsah. 1993. Rehabilitasi tanah Tropudults tererosi dengan sistem pertanaman lorong menggunakan tanaman pagar *Felemingia congesta*. Pembrit. Penel. Tanah dan Pupuk 11: 13-18.
- Irianto, G. 2000. Panen hujan dan aliran permukaan untuk meningkatkan produktivitas pertanian lahan kering, penanggulangan banjir dan kekeringan. Berita Biologi (1):
- Las, I., A.K. Makarim, A. Hidayat, A.K. Karama, dan I. Manwan. 1991. Peta Agroekologi Utama Tanaman Pangan di Indonesia. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor.
- Mazwar, Abdullah Abas Id., dan B. Hafif. 1995. Embung dan peranannya dalam pengembangan potensi sumber daya lahan di DAS perbukitan kritis Umbulrejo. hlm. 453-461 *dalam* Prosiding Lokakarya dan Ekspose Teknologi Sistem Usahatani Konservasi dan Alat Mesin Pertanian. Yogyakarta, 17 – 19 Januari 1995. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.

- Noeralam, A. 2002. Teknik Pemanenan Air yang Efektif dalam Pengelolaan Lugas Tanah Pada Usaha Tani Lahan Kering. Desertasi. Program Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Oldeman, L.R., I. Las, and Muladi. 1980. The Agroclimatic Maps of Kalimantan, Maluku, Irian Jaya and Bali, West and East Nusa Tenggara. Contributions No. 60, Central Research Institute for Agriculture, Bogor, 32 p.
- Rachman, A., H. Suwardjo, R.L. Watung dan H. Sembiring. 1989. Efisiensi teras bangku dan teras gulud dalam pengendalian erosi. hlm. *dalam* Risalah Diskusi Ilmiah Hasil Penelitian Pertanian Lahan Kering dan Konservasi Tanah di Daerah Aliran Sungai. Batu (Malang), 1-3 Maret 1989. P3HTA. Badan Litbang Pertanian.
- Stevenson, F.J. 1982. Humus Chemistry Genesis, Composition and Reaction. John Willey and Sons. New York.
- Strong, W.M., and R.D.B. Lefroy. 1995. Management of crop residues in temperate and subtropical cropping systems of Australia. p. 32-40. *In* Lefroy, R.D.B, G.J. Blair, and E.T. Craswell (Eds.) Soil Organic Matter Management for Sustainable Agriculture. Australian Centre for International Agricultural Research. Canberra. Australia.
- Subagyo, K., T. Vadari, R. L. Watung, Sukristiyonubowo, and F. Agus. 2004. Managing Soil Erosion Control in Babon Catchment, Central Java, Indonesia: Toward community-based soil conservation measures. Proceeding International Soil Conservation Organization (ISCO 2004). Brisbane, Australia, 4-8 July 2004.
- Sudirman dan A. Abdurachman. 1981. Pengaruh kadar air tanah, mulsa, dan pupuk organik terhadap pertumbuhan jagung dan pemakaian air. hlm. 297-304 *dalam* Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah. Cipayung, 10-13 Nopember 1981. Pusat Penelitian Tanah, Bogor.
- Sukmana, S., H. Suwardjo, A. Abdurachman, and J. Dai. 1986. Prospect of *Flemingia congesta* Roxb. for reclamation and conservation of volcanic skeletal soils. Pembrit. Penel. Tanah dan Pupuk 4: 50-54.
- Sukmana, S. 1996. Teknik konservasi tanah dalam penanggulangan degradasi tanah pertanian lahan kering. hlm. 23-41 *dalam* Prosiding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat: Buku I Makalah Kebijakan. Cisarua, Bogor, 26-28 September 1995. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.

- Sutono dan A. Abdurachman. 1997. Pemanfaatan soil conditioner dalam upaya merehabilitasi lahan terdegradasi. hlm. 107-122 *dalam* Prosiding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat: Makalah Review. Cisarua, Bogor, 4-6 Maret 1997. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian.
- Suwardjo, H. 1981. Peranan Sisa-sisa Tanaman dalam Konservasi Tanah dan Air dalam Usaha Tani Tanaman Semusim. Disertasi Doktor. Fakultas Pasca Sarjana IPB. Bogor. Tidak dipublikasikan.
- Suwardjo, H., A. Abdurachman, and S. Abujamin. 1989. The use of crop residu mulch to minimize tillage frequency. *Pembrit. Penel. Tanah dan Pupuk* 8: 31-37.
- Syamsiah, I., P. Wardana, Z. Arifin, A. M. Fagi. 1994. Embung. Kolam Penampung Air Serbaguna. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian.
- Tala'ohu, S. H., A. Abdurachman, dan H. Suwardjo. 1992. Pengaruh teras bangku, teras gulud, slot mulsa *Flemingia* dan strip rumput terhadap erosi, hasil tanaman dan ketahanan tanah Tropudult di Sitiung. hlm. 79-89 *dalam* Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah: Bidang Konservasi Tanah dan Air. Bogor, 22-24 Agustus 1989. Puslitbangtanak, Bogor.
- Tala'ohu, S. H. 1998. Teknik Pemanenan Air (Leaflet). Kelompok Kerja Penelitian dan Pengembangan. Sekretariat Tim Pengendali Bantuan Penghijauan dan Reboisasi Pusat.
- Tala'ohu, S. H., F. Agus, Y. Soelaeman, dan Kartiwa. 2001. Pengelolaan Sumber Daya Air dengan Teknologi Input Rendah. Laporan Akhir Tahun Anggaran 2001. Bagian Proyek Penelitian Sumber Daya Lahan dan Agroklimat dan Proyek Pengkajian Teknologi Pertanian Partisiaptif. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian (Tidak dipublikasikan).
- Tala'ohu, S. H., S. Sutono, dan Y. Soelaeman. 2003. Peningkatan produktivitas lahan kering masam melalui penerapan teknologi konservasi tanah dan air. hlm. 45-63 *dalam* Prosiding Simposium Nasional Pendayagunaan Tanah Masam: Buku II. Bandar Lampung, 29-30 September 2003. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Troeh, F. R., J. A. Hobs, and R. L. Donahue. 1991. Soil and Water Conservation. Prentice Hall, Inc. A Division of Simon & Schuster. Enggewood Cliffs, New Jersey.
- Undang Kurnia. 1996. Kajian Metode Rehabilitasi Lahan untuk Meningkatkan dan Melestarikan Produktivitas Tanah. Disertasi Doktor. Program Pasca Sarjana IPB, Bogor.

- Watung, R. L., T. Vadari, Sukristiyonubowo, Subiharta, and F. Agus. 2003. Managing Soil Erosion in Kaligarang Catchment of Java, Indonesia. Phase I Project Completion Report. International Water Management Institute (IWMI), Southeast Asia Regional Office, Bangkok. 38p.
- Whitbread, A.M. 1995. Soil organic matter: Its fractionation and role in soil structure. p. 124-130. *In* Lefroy, R.D.B, G.J. Blair and E.T. Craswell (Eds.) Soil Organic Matter Management for Sustainable Agriculture. ACIAR Proceedings No.56. Australian Centre for International Agricultural Research. Canberra.

8. OLAH TANAH KONSERVASI

Achmad Rachman, Ai Dariah, dan Edi Husen

Awal perkembangan pertanian ditandai dengan ketergantungan petani yang tinggi terhadap tenaga manusia untuk bertani. Penggunaan alat-alat sederhana, seperti kayu untuk meletakkan benih di dalam tanah masih sangat dominan. Dengan bertambahnya waktu, manusia menciptakan alat sederhana berupa cangkul untuk membongkar dan membalikkan tanah atau dikenal dengan pengolahan tanah. Kebutuhan untuk meningkatkan produksi, mendorong petani dan ahli pertanian untuk mengembangkan alat pengolahan tanah yang lebih baik. Alat berupa bajak yang ditarik oleh kerbau atau kuda kemudian diciptakan (Gambar 1), pada waktu yang bersamaan mengefisienkan penggunaan tenaga manusia. Di negara-negara berkembang, seperti Indonesia, alat-alat sederhana tersebut masih banyak digunakan oleh petani untuk mengolah lahan usaha taninya. Namun demikian, beberapa petani maju di negara berkembang sudah terbiasa menggunakan alat mesin pertanian (alsintan) seperti traktor untuk mengolah tanah, khususnya pada lahan sawah.

Di negara maju, petani sudah sangat tergantung pada alsintan, baik untuk pengolahan tanah, penanaman benih, penyiangan gulma, maupun untuk pemanenan hasil. Berbagai macam alsintan untuk mengolah tanah terus dikembangkan, menghasilkan teknologi pengolahan tanah yang efisien. Petani tidak punya pilihan lain kecuali menggunakan mesin-mesin pertanian tersebut untuk meningkatkan hasil pertanian dan mengefisienkan usaha taninya. Akibatnya, tanah diolah dengan intensitas pengolahan yang terus meningkat. Petani, pada awalnya, mendapatkan hasil panen yang tinggi, namun karena tanah terus-menerus diolah, akibatnya tanah mengalami penurunan produktivitas. Tanah yang diolah berlebihan tanpa tindakan konservasi akan menjadi lebih cepat kering, lebih halus (*powdery*), berstruktur buruk, dan berkadar bahan organik tanah rendah. Sebagai akibat dari pengolahan yang sangat intensif ini, pada tahun 1930-an, misalnya, terjadi tragedi hujan debu di Amerika Serikat yang menerbangkan debu dari lahan pertanian ke lautan Atlantik (Philips and Young, 1973).

Pengolahan tanah dapat diartikan sebagai kegiatan manipulasi mekanik terhadap tanah. Tujuannya adalah untuk mencampur dan menggemburkan tanah, mengontrol tanaman pengganggu, mencampur sisa tanaman dengan tanah, dan menciptakan kondisi kegemburan tanah yang baik untuk pertumbuhan akar (Gill and Vanden Berg, 1967). Setiap upaya pengolahan tanah akan menyebabkan

terjadinya perubahan sifat-sifat tanah. Tingkat perubahan yang terjadi sangat ditentukan oleh jenis alat pengolah tanah yang digunakan. Penggunaan cangkul, misalnya, relatif tidak akan banyak menyebabkan terjadinya pemadatan pada lapisan bawah tanah. Namun demikian karena seringnya tanah terbuka, terutama antara 2 musim tanam, maka lebih riskan terhadap dispersi agregat, erosi dan proses iluviasi yang selanjutnya dapat memadatkan tanah (Pankhurst and Lynch, 1993).

Penggunaan alat berat akan menggemburkan tanah dan membolak-balikkan tanah sampai pada kedalaman 20 cm. Namun, pada waktu yang bersamaan roda traktor menyebabkan terjadinya pemadatan tanah dan berbagai efek negatif lainnya. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa pengolahan tanah yang berlebihan menjadi penyebab utama terjadinya kerusakan struktur tanah (Larson and Osborne, 1982; Suwardjo *et al.*, 1989), dan kehakatan kandungan bahan organik tanah. Kepedulian terhadap efek kurang menguntungkan dari pengolahan tanah yang intensif mendorong para praktisi pertanian mencari alternatif penyiapan lahan yang lebih rasional terhadap kelestarian lingkungan hidup.



Gambar 1. Pengolahan tanah menggunakan tenaga kerbau untuk menarik bajak. (Foto: F. Agus).

Olah tanah konservasi (*conservation tillage*) menjadi alternatif penyiapan lahan yang dilaporkan dapat mempertahankan produktivitas tanah tetap tinggi (Brown *et al.*, 1991; Waggoner and Denton, 1991). Namun demikian, terdapat beberapa hasil penelitian yang melaporkan terjadinya penurunan hasil tanaman

akibat olah tanah konservasi (Swan *et al.*, 1991; Ketcheson, 1980) atau tidak mempengaruhi hasil tanaman (Rao and Dao, 1991). Adanya kontradiksi hasil diduga disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain curah hujan dan tekstur tanah. Pada curah hujan yang rendah, olah tanah konservasi umumnya meningkatkan hasil tanaman. Pengaruh yang sama diamati juga pada tanah yang bertekstur berat. Hal lain yang menentukan keberhasilan olah tanah konservasi adalah pemberian bahan organik dalam bentuk mulsa yang cukup, sehingga mampu menekan perumbuhan gulma. Tulisan ini akan membahas pengaruh olah tanah konservasi terhadap sifat-sifat kimia, fisika, biologi, dan erosi tanah dan hasil tanaman.

Olah tanah konservasi

Olah tanah konservasi (OTK) adalah cara penyiapan lahan yang menyisakan sisa tanaman di atas permukaan tanah sebagai mulsa dengan tujuan untuk mengurangi erosi dan penguapan air dari permukaan tanah (Gambar 2). Utomo (1995) mendefinisikan OTK sebagai suatu cara pengolahan tanah yang bertujuan untuk menyiapkan lahan agar tanaman dapat tumbuh dan berproduksi optimum, namun tetap memperhatikan aspek konservasi tanah dan air. Olah tanah konservasi dicirikan oleh berkurangnya pembongkaran/pembalikan tanah, penggunaan sisa tanaman sebagai mulsa, dan kadang-kadang disertai penggunaan herbisida untuk menekan pertumbuhan gulma atau tanaman pengganggu lainnya. Kelebihan penerapan sistem OTK dalam penyiapan lahan adalah sebagai berikut:

1. Menghemat tenaga dan waktu
2. Meningkatkan kandungan bahan organik tanah
3. Meningkatkan ketersediaan air di dalam tanah
4. Memperbaiki kegemburan tanah dan meningkatkan porositas tanah
5. Mengurangi erosi tanah
6. Memperbaiki kualitas air
7. Meningkatkan kandungan fauna tanah
8. Mengurangi penggunaan alsintan seperti traktor
9. Menghemat penggunaan bahan bakar
10. Memperbaiki kualitas udara

Keberhasilan OTK mengurangi erosi dan penguapan air dimungkinkan oleh: (a) keberadaan sisa tanaman dalam jumlah memadai di permukaan tanah; (b) kondisi permukaan tanah yang kasar (*rough*), sarang (*porous*), berbongkah (*cloddy*), dan bergulud (*ridged*); atau (c) kombinasi dari keduanya (Mannering and Fenster, 1983). Dengan demikian, nampak jelas bahwa keefektifan OTK ditentukan oleh penggunaan sisa tanaman sebagai mulsa di permukaan tanah.

Penggunaan mulsa tanpa dikaitkan dengan OTK adalah kurang efisien, tetapi penerapan OTK tanpa menggunakan mulsa adalah suatu kesalahan (Suwardjo, 1981).

Mulsa di permukaan tanah melindungi permukaan tanah dari energi hampasan butir-butir hujan, mengurangi terjadinya penyumbatan pori (*soil crusting*), sehingga meningkatkan volume air yang terinfiltrasi, dan dapat juga mengurangi daya angkut aliran permukaan. Sedangkan kekasaran permukaan dapat meningkatkan kapasitas penyimpanan air di zona pengolahan tanah, mengurangi daya angkut aliran permukaan, dan mengurangi tingkat penyumbatan pori tanah.

Beberapa cara penyiapan lahan yang akhir-akhir ini banyak diperkenalkan adalah tanpa olah tanah (*zero tillage*), olah tanah seperlunya (*reduced tillage*), dan olah tanah strip (*strip tillage*), yang kesemuanya merupakan pengembangan dan memenuhi kriteria sebagai OTK (Sinukaban, 1990).

Tanpa olah tanah (*zero tillage*)

Tanpa olah tanah (TOT) adalah cara penanaman yang tidak memerlukan penyiapan lahan, kecuali membuka lubang kecil untuk meletakkan benih. Di negara-negara maju peletakan benih menggunakan alat berat *planter* yang dilengkapi dengan *disk-opener*, sedangkan di negara-negara berkembang seperti Indonesia umumnya masih menggunakan tongkat kayu yang diruncingkan di bagian bawahnya (tugal). Tanpa olah tanah biasanya dicirikan oleh sangat sedikitnya gangguan terhadap permukaan tanah, kecuali lubang kecil untuk meletakkan benih dan adanya penggunaan sisa tanaman sebagai mulsa yang menutupi sebagian besar (60 – 80%) permukaan lahan.

Olah tanah seperlunya (*reduced tillage*)

Olah tanah seperlunya (OTS) adalah cara pengolahan tanah yang dilakukan dengan mengurangi frekuensi pengolahan. Pengolahan tanah dilakukan sekali dalam setahun atau sekali dalam dua tahun tergantung pada tingkat kepadatan tanahnya dan sisa tanaman disebarkan seluruhnya di atas permukaan tanah sebagai mulsa setelah pengolahan tanah. Pada tanah-tanah yang cepat memadat seperti pada tanah yang bertekstur berat, pengolahan tanah dapat dilakukan sekali dalam setahun, sedangkan pada tanah-tanah yang bertekstur sedang, pengolahan tanah dapat dilakukan sekali dalam dua tahun.

Olah tanah strip (*strip tillage*)

Olah tanah strip (OTS) adalah cara pengolahan tanah yang dilakukan hanya pada strip-strip atau alur-alur yang akan ditanami, biasanya strip-strip tersebut dibuat mengikuti kontur. Bagian lahan di antara dua strip dibiarkan tidak terganggu/diolah. Sisa tanaman disebar sebagai mulsa di antara dua strip dan menyisakan zona sekitar strip tanpa adanya mulsa.



Gambar 2. Olah tanah strip pada tanaman jagung. Sisa tanaman jagung dari musim tanam sebelumnya dihamparkan seluruhnya sebagai mulsa di atas permukaan tanah (Foto: Sutono)

HASIL-HASIL PENELITIAN OLAH TANAH KONSERVASI

Penelitian untuk mengetahui pengaruh olah tanah konservasi terhadap sifat-sifat fisik, kimia, dan biologi tanah, erosi dan hasil tanaman telah dilaksanakan, baik di dalam maupun di luar negeri. Beberapa hasil penelitian diuraikan secara ringkas di bawah ini dengan cara membandingkan hasil penelitian yang dilaksanakan di dalam negeri dengan penelitian yang dilaksanakan di luar negeri.

Berat isi tanah

Berat isi tanah (BI) adalah berat massa tanah per unit volume tanah. Selanjutnya perlu diingat bahwa BI akan mengalami perubahan menurut waktu setelah dilaksanakan pengolahan tanah (Rachman *et al.*, 2003). Sebagai contoh, BI pada zona pengolahan tanah (0-10 cm) mungkin akan meningkat segera

setelah diolah disebabkan oleh proses pemadatan selama periode jenuh air atau oleh energi kinetik yang berhubungan dengan hempasan air hujan. Dengan waktu, BI pada kedalaman tersebut mungkin akan menurun disebabkan oleh pengaruh penggemburan oleh akar tanaman dan aktivitas mikrobia tanah. Sebaliknya, pada sebagian besar permukaan tanah, BI menjadi gembur akibat pengolahan tanah. Namun, bisa memadat karena dispersi, penyumbatan pori, dan pemadatan permukaan (*crusting*).

Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa BI antara perlakuan pengolahan tanah dan OTK menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata. Hasil penelitian Suwardjo *et al.* (1989) pada Tropudult dan Oxisol menunjukkan bahwa 8 bulan setelah perlakuan diterapkan, BI pada pengolahan tanah intensif dan OTK tidak berbeda nyata (Tabel 1). Hasil yang hampir sama dilaporkan oleh Liwang (1995) dari hasil penelitiannya pada tanah Andisol di Malang dan Shear dan Moschler (1969) pada tanah bertekstur lempung. Penelitian Shear dan Moschler (1969) menunjukkan bahwa 6 tahun setelah dimulainya percobaan, BI pada pengolahan tanah dan TOT tidak berbeda nyata (Tabel 2). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pada tanah bertekstur lempung, penerapan OTK selama 6 tahun berturut-turut tidak meningkatkan kepadatan tanah. Selain itu, waktu pengambilan contoh untuk melihat BI akibat cara penyiapan lahan sangat penting untuk diperhatikan. Penelitian yang mengkorelasikan antara perubahan BI terhadap waktu dan kisaran BI untuk pertumbuhan optimum tanaman tertentu belum banyak dilaksanakan.

Tabel 1. Pengaruh mulsa dan pengolahan tanah terhadap BI tanah pada tanah Tropudults di Pekalongan, Lampung

Perlakuan	Berat isi tanah
	g cm ⁻³
8 bulan setelah perlakuan	
Tanpa olah tanah	1,26
Diolah + mulsa	1,17
OTM, tanpa mulsa	1,19
12 bulan setelah perlakuan	
Tanpa mulsa	1,05
Diolah + mulsa	0.93
OTM, tanpa mulsa	0.95

Sumber: Suwardjo *et al.* (1989); OTM= olah tanah minimum

Tabel 2. Berat isi tanah setelah 6 tahun penanaman jagung dengan perlakuan pengolahan tanah intensif dan TOT pada dua kedalaman tanah bertekstur lempung

Pengolahan tanah	Ulangan	Berat isi tanah	
		10 – 12 cm	40 – 42 cm
		g cm ⁻³	
Intensif	1	1,39	1,52

Tanpa olah tanah	2	1,46	1,67
	3	1,43	1,74
	4	1,43	1,57
	Rerata	1,43	1,62
	1	1,40	1,76
	2	1,59	1,62
	3	1,50	1,84
	4	1,43	1,76
	Rerata	1,48	1,74

Sumber: Shear dan Moschler (1969)

Hambatan mekanik tanah

Hambatan mekanik tanah (*mechanical impedance*) dipengaruhi oleh mineralogi liat dan sifat-sifat fisik tanah antara lain BI, tekstur, struktur, kelembapan tanah, dan kandungan bahan organik tanah (Cassel, 1982). Hambatan mekanik dapat diukur dengan menggunakan *penetrometer*. Alat ini terdiri atas batang dan *cone* berbentuk kerucut meruncing pada ujung bagian bawah. Jika *cone* ini dimasukkan ke dalam tanah, maka tanah akan memberikan reaksi untuk menahan masuknya/bergeraknya *cone* tersebut. Hasil pengukuran biasanya dinyatakan dalam gaya atau tekanan yang melawan masuknya *cone* pada kedalaman tertentu. Beberapa peneliti seperti Knith dan Freitag (1962) menggunakan istilah *cone index*, lainnya menggunakan istilah ketahanan penetrasi (*Qp*) yang didefinisikan sebagai gaya (*F*) yang diperlukan untuk menekan *cone* ke dalam tanah dibagi dengan diameter dari *cone* (*d*) atau,

$$Qp = 4 F d^{-2}$$

Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa kepadatan tanah mempengaruhi pertumbuhan akar tanaman. Dengan terhambatnya perkembangan akar, maka pertumbuhan tanamanpun akan terganggu. Taylor et al. (1966) meneliti pengaruh ketahanan penetrasi tanah terhadap perkembangan akar kapas. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa akar tanaman kapas berkembang dengan baik (>60%) pada ketahanan penetrasi sekitar 0,5 MPa, terhambat pada 1 Mpa, dan sangat terhambat pada 2,2 MPa. Untuk tanaman kedelai dan jagung, perkembangan akarnya akan sangat terhambat pada ketahanan penetrasi 1 MPa atau berat isi 1,6 g cm⁻³, di atas 1 MPa akar jagung dan kedelai hampir tidak ditemukan lagi (Mazurak and Pohlman, 1968). Umumnya Oxisol, Ultisol, dan Alfisol tidak mempunyai hambatan mekanik yang berarti bagi perkembangan akar. Tanah Oxisol, Ultisol, dan Alfisol yang diolah secara tradisional menggunakan cangkul dan/atau bajak mempunyai BI antara 0,95-1,15 g cm⁻³ dan tahanan penetrasi <2,5 MPa (Arya et al., 1992). Pada tingkat BI dan tahanan penetrasi tersebut tidak diperlukan pengolahan tanah untuk membuat tanah lebih gembur (Taylor and Ratliff, 1969).

Meskipun penggunaan *cone penetrometer* untuk mengukur kepadatan tanah pertanian masih mendapatkan kritikan, namun penggunaannya masih dianggap relevan untuk memberikan gambaran hambatan mekanik tanah. Beberapa kritik yang dilontarkan, antara lain bahwa *cone* yang dipakai lebih besar dari akar, laju penetrasinya lebih cepat dari akar, dan ketidakmampuannya untuk menyelip masuk dan keluar di antara partikel-partikel tanah. Penelitian yang mengkorelasikan antara ketahanan penetrasi dengan perlakuan olah tanah konservasi perlu dilakukan secara lebih terencana dan terarah pada berbagai kondisi struktur, tekstur, dan kelembapan tanah. Dari hasil penelitian tersebut diharapkan dapat diketahui kebutuhan akan pengolahan tanah spesifik lokasi dan tanaman.

Sifat-sifat hidrolik tanah

Sifat-sifat hidrolik tanah adalah sifat-sifat tanah yang mempengaruhi kemampuan tanah untuk menahan dan menghantarkan air. Dikenal tiga tipe pergerakan air di dalam tanah: (1) pergerakan air dalam kondisi jenuh; (2) pergerakan air dalam kondisi tak jenuh; dan (3) pergerakan air karena penguapan. Ketiga tipe pergerakan air tersebut merupakan respon air terhadap perbedaan energi antara satu zona dengan zona lainnya. Air akan bergerak dari zona yang mempunyai potensial air (*water potential*) tinggi ke zona yang potensial airnya rendah. Pergerakan air dalam kondisi jenuh terjadi apabila seluruh pori tanah terisi air, sedangkan pergerakan air tak jenuh terjadi pada kondisi dimana hanya pori berukuran meso dan mikro yang terisi air, sementara pori berukuran makro terisi udara. Besarnya volume air yang dapat dihantarkan oleh pori tanah yang jenuh air dapat diekspresikan menggunakan hukum Darcy, sebagai berikut:

$$Q/t = AK_{sat} (\Delta\Psi/L)$$

dimana: A adalah luas penampang melintang contoh tanah dimana air dihantarkan, K_{sat} adalah hantaran hidrolik tanah, $\Delta\Psi$ adalah perbedaan potensial air antara dua ujung contoh, dan L adalah panjang dari contoh tanah.

Pengolahan tanah mempengaruhi secara tidak langsung sifat-sifat hidrolik tanah melalui perubahan terhadap pori-pori tanah. Setiap perlakuan yang diberikan kepada tanah yang dapat meningkatkan porositas tanah akan meningkatkan sifat-sifat hidrolik tanah. Rachman *et al.* (2004) melaporkan bahwa hantaran hidrolik tanah berbanding lurus dengan pori berukuran makro, yang berarti hantaran hidrolik tanah meningkat dengan makin besarnya volume pori tanah. Dengan demikian setiap bentuk perlakuan terhadap tanah yang dapat meningkatkan pori tanah akan meningkatkan hantaran hidroliknya, demikian pula sebaliknya. Pengolahan tanah meningkatkan hantaran hidrolik tanah sesaat setelah dilaksanakannya pengolahan, namun demikian akan menurun sejalan dengan waktu. Sebaliknya pada sistem OTK, hantaran hidrolik tanah akan rendah pada awal diterapkannya sistem OTK,

namun meningkat menurut waktu. Peningkatan hantaran hidrolik pada sistem OTK ini terutama disebabkan oleh pengaruh perlindungan mulsa sisa tanaman di permukaan tanah yang mencegah terjadinya penyumbatan pori oleh agregat tanah yang terdispersi, peningkatan kestabilan agregat tanah, perkembangan fauna tanah, dan pembentukan saluran-saluran (*channels*) oleh sisa akar tanaman yang telah mati dan aktivitas fauna tanah.

Erosi

Salah satu manfaat dari penerapan OTK adalah berkurangnya erosi, salah satunya sebagai akibat dari pemberian mulsa di permukaan tanah. Hasil penelitian Suwardjo (1981) memperlihatkan pengaruh nyata cara pengolahan tanah terhadap erosi. Erosi pada perlakuan yang diolah dan tanpa mulsa sebesar 112 t ha⁻¹ jauh di atas batas ambang erosi yang masih diperbolehkan. Sementara pada perlakuan yang tidak diolah dan diberi mulsa, erosi yang terjadi sangat rendah (<5 t ha⁻¹; Tabel 3). Mulsa sangat berperan dalam mengefektifkan pengaruh pengurangan pengolahan tanah terhadap jumlah erosi yang terjadi. Tanah yang tidak diolah, tetapi dalam keadaan terbuka ternyata jumlah erosi yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan tanah yang diolah. Pengurangan frekuensi pengolahan tanah yang disertai penggunaan mulsa dapat menurunkan erosi yang terjadi sebesar ± 90%. Jenis mulsa yang digunakan juga berpengaruh terhadap erosi yang terjadi. Mulsa jerami lebih baik dibandingkan dengan mulsa batang kacang tanah, karena mulsa batang kacang tanah lebih cepat lapuk.

Tabel 3. Pengaruh pengolahan tanah dan penggunaan mulsa terhadap erosi dan aliran permukaan pada tanah Oxisol Citayam, Bogor, Jawa Barat

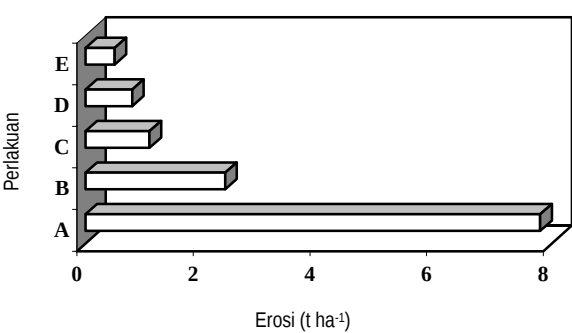
Perlakuan	Erosi	Run off
	t ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹
Tanah terbuka tidak diolah	165,2 a	1860,0 a
Diolah, ditanami, tanpa mulsa	112,4 b	1593,5 a
Tidak diolah, mulsa jerami	4,3 c	622,0 b
Tidak diolah, mulsa batang kacang tanah (6 t ha ⁻¹)	8,9 d	230,5 b
Tidak diolah, mulsa batang kacang tanah seluruhnya	6,6 c	404,4 c

Sumber: Suwardjo, 1981

Sistem TOT dilaporkan efektif mengurangi erosi pada tanah bertekstur lempung liat berdebu (McGregor *et al.*, 1975). Hasil penelitian McGregor *et al.* (1975) menunjukkan bahwa sistem TOT yang diterapkan pada lahan yang ditanami kedelai dapat ditekan tujuh kali lebih rendah dibandingkan dengan pada lahan yang diolah (Gambar 3). Rendahnya erosi pada sistem TOT adalah karena terdapatnya mulsa sisa tanaman. Mulsa sisa tanaman melindungi tanah dari hempasan butir-

butir hujan, mengurangi penyumbatan pori di permukaan tanah (*surface sealing*) yang dapat meningkatkan aliran permukaan terutama pada tanah dengan kandungan debu tinggi. Mulsa dapat juga mengurangi laju aliran permukaan yang berperan penting dalam proses pengangkutan butir-butir tanah yang telah terdipersi.

Hasil penelitian yang dilakukan di *North Appalachian Experiment Watershed* di Coshocton, Ohio menunjukkan bahwa praktek TOT menghasilkan aliran permukaan jauh lebih kecil dibandingkan dengan praktek pengolahan tanah konvensional (Edwards, 1991; Tabel 4). Selanjutnya Lindstrom *et al.* (1979) mengemukakan bahwa untuk daerah produksi jagung (*cornbelt*) di Amerika Serikat, pengolahan tanah konvensional menyebabkan terjadinya erosi sebesar 21,5 t ha⁻¹ tahun⁻¹; untuk pengolahan dengan chisel 8,7 t ha⁻¹ tahun⁻¹ dan untuk TOT 6,5 t ha⁻¹ tahun⁻¹. Pada daerah tersebut erosi yang dapat dibiarkan adalah 9 t ha⁻¹ tahun⁻¹.



- A. Pengolahan tanah, ditanami kedelai
- B. TOT ditanami jagung setelah kedelai
- C. TOT ditanami kedelai
- D. TOT ditanami rotasi kedelai dan wheat
- E. TOT ditanami kedelai setelah jagung

Gambar 3. Rata-rata erosi 3 tahun dari berbagai kombinasi pengolahan tanah dan pola tanam pada tanah Lexington lempung liat berdebu (Sumber: McGregor *et al.* (1975).

Tabel 4. Curah hujan dan aliran permukaan pada lahan yang ditanami jagung secara terus-menerus dengan sistem TOT dan pengolahan tanah konvensional di Ohio Amerika Serikat

Tahun	Curah hujan	Aliran permukaan	
		Tanpa olah tanah	Olah tanah konvensional

		mm	
1979	1124	3,81	140,2
1980	1175	4,90	312,8
1981	1057	0,14	142,2
1982	889	0,00	113,3
1983	1027	0,00	*
1984	909	2,31	*
1985	929	0,01	*
1986	966	9,21	*
1987	841	0,15	*
1988	854	0,03	*

Sumber: Edwards, 1991

* tidak dilakukan lagi pengolahan tanah secara konvensional

Keseimbangan hara tanah

Salah satu efek negatif dari pengolahan tanah adalah mempercepat proses oksidasi bahan organik. Percepatan oksidasi bahan organik ini diakibatkan oleh peningkatan aerasi tanah dan meningkatkan kontak langsung antara tanah dan bahan organik. Hasil penelitian di Kentucky Amerika Serikat menunjukkan terjadinya penurunan kandungan bahan organik tanah pada tanah yang diolah, terutama pada kedalaman 0–5 cm dari permukaan tanah (Tabel 5). Hasil yang sama dilaporkan oleh Suwardjo (1981) yang menemukan adanya penurunan kandungan bahan organik tanah pada perlakuan diolah sempurna yang dikombinasikan dengan penggunaan mulsa. Sebaliknya, terjadi peningkatan kandungan bahan organik tanah yang signifikan pada tanah yang tidak diolah. Hasil penelitian yang berbeda dilaporkan oleh Kasno *et al.* (1998) yang berdasarkan penelitian pengelolaan hara terpadu di Mulyorejo, Lampung Utara memperlihatkan bahwa perlakuan TOT tidak memperlihatkan pengaruh nyata pada kandungan bahan organik tanah, baik pada perlakuan takaran pupuk sedang maupun takaran pupuk tinggi. Belum adanya perbedaan terhadap akumulasi bahan organik pada kedua perlakuan tersebut kemungkinan disebabkan oleh singkatnya waktu pengamatan.

Bahan organik merupakan bagian integral dari tanah yang sangat berpengaruh terhadap perubahan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah, sehingga sangat penting sebagai indikator kualitas tanah (Carter *et al.*, 1997). Bahan organik berfungsi antara lain sebagai sumber hara, meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK), meningkatkan stabilitas struktur tanah, memperbaiki kapasitas menyimpan air, dan mempermudah perkembangan akar di dalam tanah (Tate, 1987). Penerapan OTK yang menempatkan mulsa sisa tanaman di atas permukaan tanah meningkatkan akumulasi C-organik, karena sistem ini dapat mengurangi proses mineralisasi bahan organik.

Keseimbangan unsur hara di dalam tanah juga bisa terganggu oleh kejadian erosi yang dipercepat dengan adanya perlakuan pengolahan tanah sempurna. Erosi tanah yang tinggi akan mengangkut unsur hara dari tanah ke saluran-saluran atau sungai yang akan mempengaruhi keseimbangan hara di dalam tanah. Hara yang terangkut bersama sedimen akan memperkaya badan-badan air dengan unsur hara menyebabkan tumbuh suburnya gulma di badan-badan air. Akibatnya akan mempercepat proses pendangkalan badan-badan air. Penelitian yang berlangsung selama 24 musim tanam jagung pada tanah Alfisol di Nigeria menunjukkan bahwa dengan olah tanah sempurna, kandungan debu dan liat di permukaan tanah menurun akibat hanyut bersama aliran permukaan menyisakan partikel tanah yang lebih kasar di permukaan tanah (Agus dan Dariah, 1997). Dominannya tanah berukuran kasar pada permukaan tanah menyebabkan KTK tanah menurun dan pencucian hara lebih banyak pada tanah yang diolah secara konvensional, sehingga kandungan ion dapat ditukar menurun.

Tabel 5. Distribusi kandungan bahan organik tanah setelah 5 dan 10 tahun perlakuan TOT dan OTK di Kentucky Amerika Serikat

Kedalaman tanah	Kandungan bahan organik tanah			
	5 tahun setelah perlakuan		10 tahun setelah perlakuan	
	Tanpa olah tanah	Olah tanah konvensional	Tanpa olah tanah	Olah tanah konvensional
cm	%			
0 – 5	4,11	2,78	4,82	2,40
5 – 15	2,15	2,60	2,34	2,31
15 – 30	1,24	1,47	1,15	1,22

Sumber: Blevins *et al.* (1985)

Pengolahan tanah dalam pada lahan marginal seperti tanah Ultisol dikhawatirkan akan memunculkan lapisan tanah yang mengandung senyawa beracun seperti Al dan Fe. Hasil penelitian pada tanah Ultisol Sajira, Rangkasbitung memperlihatkan penambahan bahan organik serta kombinasi antara bahan organik, biofosfat dan TOT dapat menurunkan kejenuhan Al. Selain berpengaruh pada produksi tanaman pangan, perlakuan bahan organik dan mulsa dapat mengurangi jumlah hara yang hilang melalui erosi.

Kondisi biologi tanah

Pengolahan tanah memacu aktivitas mikroba yang ditandai oleh meningkatnya jumlah populasi dan aktivitas respirasi. Stimulasi ini terjadi karena terganggunya agregat tanah dan tereksposnya bahan-bahan cepat lapuk (*degradable material*). Menurut Elliott (1986), agregat tanah makro merupakan tempat paling aktif terjadinya proses mineralisasi (perubahan elemen organik menjadi anorganik). Pembalikan tanah dan penghancuran bahan-bahan organik menciptakan zona aktivitas mikroba intensif di lapisan olah. Dalam OTK (olah tanah minimum = OTM dan TOT), stimulasi aktivitas mikroba terjadi di dekat permukaan tanah (Paul dan Clark, 1996; Doran dan Linn, 1994).

Hasil penelitian Beauchamp dan Hume (1997) menunjukkan bahwa membuka lahan baru yang sebelumnya merupakan hutan menjadi tanah pertanian akan meningkatkan jumlah mikroba sebanyak 1,5 kali dari jumlah normal. Jumlah populasi bakteri dan actinomicetes relatif sama, tetapi populasi jamur menurun. Hasil penelitan Doran dan Linn (1994) menunjukkan bahwa kandungan C-organik, N, dan biomassa C dari mikroba lebih tinggi di lapisan 0-7,5 cm dibandingkan dengan di lapisan 7,5–15 cm. Kecenderungan yang sama dijumpai pada jumlah populasi jamur dan bakteri aerobik dan mikroba nitrifikasi. Mikroba obligat anaerob dan denitrifikasi berkembang di kedua lapisan (0–7,5 cm dan 7,5–15 cm) menunjukkan tingginya ketersediaan energi, dan kandungan air pada perlakuan TOT yang ditandai oleh rasio antara TOT dan dengan olah tanah (DOT) yang lebih besar dari 1 (Tabel 6).

Tabel 6. Rasio C, N, dan populasi fungsional mikroba antara perlakuan TOT dan DOT pada dua kedalaman tanah

Parameter	Rasio TOT dan DOT pada kedalaman tanah	
	0-7,5 cm	7,5-15 cm
C-organik	1,4	1,0
N-organik	1,4	1,0
Biomassa C mikroba	1,5	1,0
Jamur	1,4	0,6
Bakteri aerob	1,4	0,7
Mikroba nitrifikasi	1,0	0,5
Mikroba obligat anaerob	1,3	1,1
Mikroba denitrifikasi	2,7	1,9

Sumber: Doran dan Linn (1994)

Lebih jauh Pankhurst dan Lynch (1993) mengemukakan bahwa gangguan tanah akibat pengolahan akan memacu perkembangan mikroba aerobik (biasanya bakteri) yang memiliki metabolisme tinggi. Ini mengakibatkan berkembangnya fauna pemakan bakteri (protozoa, nematode) di tanah-tanah pertanian, sehingga dekomposisi bahan organik dari sisa tanaman dan

mineralisasi hara meningkat pesat. Sebaliknya, pada OTK, residu tanaman terlokalisir di permukaan tanah dan kondisi ini meningkatkan pertumbuhan jamur dan immobilisasi hara (perubahan/ konversi elemen anorganik menjadi organik). Meningkatnya populasi jamur akan memacu perkembangan fauna pemakan jamur (nematoda, colembola, dan cacing tanah). Dengan demikian, pada TOT dekomposisi dan mineralisasi bahan organik dari sisa tanaman berlangsung lambat.

Suwardjo (1981) melaporkan bahwa perlakuan TOT yang disertai pemberian mulsa meningkatkan jumlah dan bobot tanah sisa cacing berupa butiran berukuran 0,5-2 cm di permukaan tanah (Tabel 7). Perlakuan pemberian mulsa meningkatkan aktivitas cacing tanah, tetapi pengolahan tanah secara teratur tidak banyak meningkatkan aktivitas cacing tanah, meskipun diberi mulsa.

Karena unsur C adalah faktor pembatas aktivitas mikroba heterotropik di tanah pertanian, maka dengan mengembalikan sisa tanaman ke lahan usaha tani akan meningkatkan aktivitas dan komposisi mikroflora (Gupta, 1993) yang selanjutnya akan memacu perkembangan fauna pemakan mikroflora. Selain itu, pemberian mulsa mengurangi evaporasi dan *runoff*, meningkatkan kandungan air di permukaan tanah, dan konservasi bahan organik.

Tabel 7. Rata-rata jumlah tanah sisa cacing dan banyaknya cacing setiap m² sehabis panen jagung di Pekalongan, Lampung

Perlakuan	Jumlah cacing Peb. 1980	Jumlah tanah sisa cacing	Jumlah cacing Mei 1980	Jumlah tanah sisa cacing Mei 1980
	Peb. 1980			
	m ²	g m ⁻²	m ²	g m ⁻²
Tidak diolah, tidak ditanami	3	18,7	1	0
Diolah dalam, diberi mulsa, ditanami	271	34,7	72	170,5
Diolah dalam, tanpa mulsa, ditanami	7	15,3	1	88,5
Diolah, diberi mulsa	247	62,7	141	408,5
Diolah teratur, diberi mulsa, ditanami	54	40,7	15	99,2
Tidak diolah, diberi mulsa, ditanami	292	72,0	178	499,7

Sumber: Suwardjo (1981)

Hasil tanaman

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pengaruh OTK terhadap hasil tanaman bervariasi tergantung keadaan tanah dan lingkungan. OTK adakalanya meningkatkan, tidak mengubah atau bahkan menurunkan hasil tanaman. Dick dan van Doren (1985), yang melaksanakan penelitian pada tanah bertekstur lempung berdebu, melaporkan peningkatan hasil jagung yang sangat nyata pada perlakuan TOT dibandingkan dengan tanah yang diolah sempurna (OTS; Tabel 8). Perlakuan TOT memberi hasil 615-1.620 kg ha⁻¹ lebih tinggi pada monokultur jagung dan 802-1.790 kg ha⁻¹ lebih tinggi pada rotasi jagung dan kedelai dibandingkan dengan hasil pada perlakuan OTS. Hasil yang sama dilaporkan juga oleh Webber et al. (1987) dan Jones et al. (1969). Peningkatan hasil tanaman pada perlakuan OTK dibandingkan dengan perlakuan diolah disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah meningkatnya ketersediaan air tanah dan dapat ditekannya kehilangan hara karena erosi. Pemulsaan meningkatkan ketersediaan air tanah, karena menurunkan evaporasi dan meningkatkan infiltrasi menyebabkan lebih tingginya kandungan air tanah di sekitar daerah perakaran pada perlakuan OTK dibandingkan dengan perlakuan diolah.

Namun demikian, beberapa penelitian lainnya melaporkan terjadinya penurunan produksi tanaman akibat perlakuan OTK. Dick dan van Doren (1985) dan Griffith et al. (1988) melaporkan adanya penurunan produksi akibat perlakuan OTK pada tanah yang bertekstur berat, namun tidak demikian pada tanah bertekstur ringan. Rendahnya produksi tanaman akibat OTK pada tanah bertekstur berat diakibatkan oleh adanya serangan fungus *Phytium graminicola* Subr pada akar jagung. *Phytium* umumnya ditemukan pada tanah yang sering jenuh atau hampir jenuh air selama periode pertumbuhan tanaman. Rentannya tanaman terhadap busuk akar ini juga dapat dipercepat oleh rendahnya suhu di bawah lapisan mulsa dan juga rendahnya porositas (aerasi) di horizon Ap di bawah perlakuan TOT. Kemungkinan lainnya adalah adanya pengaruh allelopati. Allelopati diduga disebabkan oleh dekomposisi bahan organik pada kondisi lembab yang dapat terjadi pada tanah yang berdrainase jelek.

Tabel 8. Selisih hasil tanaman pada perlakuan TOT dibandingkan dengan perlakuan OTS pada dua bentuk pola tanam dihitung berdasarkan periode 5 tahunan dari tahun 1963 sampai 1983 pada tanah bertekstur lempung berdebu

Periode 5 tahunan	Rata-rata hasil	Hasil dari TOT dikurangi OTS	
		Jagung	Rotasi jagung dan kedelai
		kg ha ⁻¹	
1963-1967	6530	748	824

1965-1969	7350	805	840
1967-1971	7610	929	865
1969-1973	8620	707	884
1971-1975	8750	1620	1520
1973-1977	8305	1500	1580
1975-1979	8430	1130	1420
1977-1981	8940	615	802
1979-1983	8880	1290	1790

Sumber: Dick dan van Doren, 1985.

Beberapa hasil penelitian di Indonesia memperlihatkan keberhasilan perlakuan TOT sangat tergantung pada kondisi tanah bersangkutan. Perlakuan TOT yang diterapkan pada lokasi penelitian di Sajira, Rangkasbitung dan pada lokasi penelitian di Mulyorejo, Lampung Utara memperlihatkan pengaruh yang berbeda terhadap hasil tanaman. Pada lokasi penelitian di Mulyorejo, perlakuan TOT tidak menimbulkan efek negatif terhadap hasil tanaman padi gogo. Hal ini dapat disebabkan karena kandungan pasir di lokasi tersebut mencapai 60% (Tabel 9). Pada lokasi penelitian di Sajira, Rangkasbitung, dimana tekstur tanah tergolong liat berdebu dan sebelumnya adalah tanah bera serta ditumbuhi semak belukar, perlakuan TOT menurunkan hasil jagung dan cenderung menurunkan hasil kedelai (Tabel 10).

Tabel 9. Pengaruh bahan organik, pupuk hayati dan tanpa olah tanah terhadap hasil padi gogo dan kedelai di Mulyorejo, Lampung Utara

Perlakuan	Padi gogo	Kedelai (N ₂ P ₂ K ₂)	Kedelai (N ₃ P ₃ K ₃)
	ku ha ⁻¹		
Kontrol	19,2a*	5,4bc	8,1bc
Pukan	18,2a	7,9b	8,4bc
Pukan + A	21,7a	4,9c	7,8bc
Pukan + B	20,1a	7,3bc	11,8a
Pukan + A + TOT	19,5a	5,8bc	7,2c
Pukan + B + TOT	20,4a	11,1a	9,9ab
KK (%)	24,3	17,8	

Keterangan: Pukan = pupuk kandang
A= EM4
B= biofosfat/rhizoplus
TOT = tanpa olah tanah
N1P1K1=90 kg N, 90 kg P₂O₅, 60 kg K₂O ha⁻¹
N2P2K2= 135 kg N, 135 kg P₂O₅, 90 kg K₂O ha⁻¹

*Angka-angka dalam kolom yang sama yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5%

Tabel 10. Pengaruh bahan organik, pupuk hayati dan tanpa olah tanah terhadap hasil jagung dan kedelai di Sajira, Rangkasbitung, Jawa Barat

Perlakuan	Produksi jagung	Produksi kedelai
	ku ha ⁻¹	
Kontrol	35,8c*	10,8b
Pukan	44,0bc	13,2ab
Pukan+A	52,7a	12,5ab
Pukan+B	47,9ab	14,7a
Pukan+A+TOT	43,2bc	12,0b
Pukan+B+TOT	43,0bc	12,3ab
KK (%)	14,2	15,9

Keterangan:

Pukan=pupuk kandang

A= EM4

B= biofosfat/rhizoplus

TOT = tanpa olah tanah

*Angka-angka dalam kolom yang sama yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5%

Peranan mulsa dalam penerapan OTM sangat besar. Hasil penelitian Undang Kurnia (1996) memperlihatkan penerapan OTM yang disertai pemberian pupuk kandang, mulsa jerami padi dan mulsa *Mucuna* sp. sangat nyata meningkatkan hasil tanaman. Hasil penelitian TOT dengan menggunakan herbisida glisfosat selama 5 musim tanam terus-menerus tidak berbeda nyata dengan sistem olah tanah sempurna (Tabel 11). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pengolahan tanah dapat dikurangi frekuensinya, jika kondisi tanah memungkinkan, sehingga dapat mengurangi ongkos produksi sekaligus menjaga kelestarian sumber daya tanah.

Tabel 11. Rata-rata hasil padi varietas IR 64 yang dipanen pada petak TOT dan OTS berturut-turut dari musimh hujan (MH) 1993/1994 - MH 1995/1996 di kebun percobaan (KP) Pusakanagara, Jawa Barat

Perlakuan	MH 1993/94	MK 1994	MH 1994/95	MK 1995	MH 1995/96	Rata-rata
	t ha ⁻¹					
Kontrol	5,73	4,46	5,35	4,26	4,17	4,79
OTS	7,36	6,27	6,95	6,01	5,02	6,32
OTK	6,71	6,29	7,02	6,13	5,09	6,25

Sumber: Badan Litbang Pertanian (1998)
Kontrol: TOT, tanpa aplikasi herbisida sebelum tanam, tanah tanpa diolah
TOT: aplikasi herbisida glifosat sebelum tanam dengan takaran 4 l ha⁻¹, tanah tanpa olah
OTK: tanah diolah sempurna sebelum tanam, tanpa aplikasi herbisida sebelum tanam

BEBERAPA KRITERIA YANG MENENTUKAN PERLU TIDAKNYA PENGOLAHAN TANAH

Tanah pertanian berfungsi sebagai wahana (*media*) dimana air, udara, hara, dan energi di translokasikan ke biji dan tanaman itu sendiri. Oleh karena itu, sifat-sifat tanah yang mempengaruhi penyimpanan dan translokasi parameter tersebut memainkan peran sangat penting. Perlu diingat bahwa tanaman tidak memberikan tanggap langsung kepada alat yang digunakan dalam mengolah tanah, tetapi pada kondisi tanah yang diciptakan dari pengolahan tanah tersebut. Pertumbuhan akar itu sendiri akan menyebabkan terjadinya perubahan susunan tanah (*soil deformation*) di zona sekitar ujung akar. Untuk dapat tumbuh dan berkembang, akar harus menciptakan suatu sistem tenaga yang memberinya kemampuan untuk menembus tanah di sekitarnya. Oleh karena itu, kekuatan tanah yang berkaitan dengan fleksibilitas tanah untuk merubah susunannya (*soil deformation*) mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan akar.

Perlu tidaknya tanah diolah harus dilihat dari keadaan kepadatan tanah, kekuatan tanah, dan tingkat aerasi. Kepadatan tanah berkaitan dengan pemadatan yang terjadi sebagai akibat dari penggunaan alsintan atau oleh hampasan butir-butir hujan di permukaan tanah, diikuti oleh pergerakan vertikal partikel-partikel tanah untuk menyumbat pori tanah. Kepadatan tanah umumnya ditandai dengan tingginya berat isi, sedangkan kekuatan tanah berkaitan dengan fleksibilitas untuk merubah susunannya. Pengolahan tanah diperlukan bila kondisi kepadatan, kekuatan tanah, aerasi tanah, dan dalamnya perakaran tanaman tidak lagi mendukung penyediaan air dan perkembangan akar. Tingkat kepekaan tanah terhadap pemadatan bervariasi tergantung jenis tanah, misalnya tanah Oxisol Citayam (Bogor) mempunyai tingkat kepekaan yang lebih besar terhadap pemadatan dibandingkan dengan Alfisol Citaman dan Ultisol Sukamandi.

Beberapa hasil penelitian mengemukakan batasan kepadatan dan kekuatan tanah serta aerasi tanah, dimana tanah sudah memerlukan pengolahan, yakni sebagai berikut:

- Hambatan mekanik: kekuatan tanah ditentukan dari ketahanan tanah terhadap penetrasi penetrometer. Suwardjo (1981), berdasarkan hasil penelitiannya menyimpulkan bahwa bila kekuatan tanah telah mencapai 1,5 MPa sudah diperlukan pengolahan tanah.
- Keadaan pori aerasi: pengolahan tanah diperlukan bila pori aerasi udara <12% volume.
- Kekerasan agregat: tanah memerlukan pengolahan bila kekerasan agregat > 0,01 MPa.

Kriteria-kriteria di atas agak sulit dipraktekkan oleh petani, karena pengukuran parameter di atas memerlukan alat. Dalam penerapan sistem OTK secara terus-menerus, penurunan produksi pada suatu musim tanam dapat memberikan petunjuk bahwa tanah sudah menjadi padat, sehingga perlu dilakukan pengolahan tanah sempurna pada musim tanam berikutnya. Dengan demikian, keberlangsungan OTK dapat dipertahankan dengan menerapkan OTK selama beberapa musim tanam ditambah dengan sesekali pengolahan tanah penuh.

Pengurangan percepatan pemadatan tanah dapat dilakukan dengan menerapkan beberapa perlakuan, diantaranya dengan penggunaan mulsa. Beberapa hasil penelitian memperlihatkan eratnya hubungan mulsa dengan tingkat keberhasilan frekuensi pengolahan tanah. Suwardjo, 1981 mengemukakan bahwa penggunaan mulsa tanpa dikaitkan dengan usaha pengolahan tanah seperlunya adalah kurang efisien, tetapi pengolahan tanah seperlunya tanpa menggunakan mulsa adalah suatu kesalahan.

Untuk lahan-lahan yang telah terdegradasi, sistem OTK tidak dapat langsung diterapkan. Tanah-tanah yang demikian memerlukan rehabilitasi terlebih dahulu, misalnya dengan penanaman tanaman penutup tanah.

PENUTUP

Pengolahan tanah merupakan tindakan yang penting untuk menciptakan kondisi media perakaran yang mampu mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Jadi, apabila kondisi fisik tanah sudah baik, maka pengolahan tanah tidak diperlukan. Strategi penyiapan lahan yang kini banyak menarik perhatian adalah penerapan pengurangan pengolahan tanah atau OTK. Olah tanah konservasi dalam hal ini harus diartikan sebagai tindakan pengurangan pengolahan tanah dan disertai dengan penggunaan mulsa.

Penerapan OTK, pada kondisi tertentu berpengaruh positif terhadap sifat-sifat tanah, seperti peningkatan kadar bahan organik tanah, penurunan jumlah tanah yang tererosi, peningkatan aktivitas mikrobiologi tanah, hasil tanaman, efisiensi usaha tani dan indeks pertanaman. Penerapan OTK akan meningkatkan hasil tanaman lebih baik dibandingkan dengan pengolahan tanah konvensional jika diterapkan pada tanah yang bertekstur ringan. Pada tanah yang bertekstur berat dan berdrainase jelek, OTK cenderung memberikan

hasil tanaman lebih rendah dibandingkan dengan pengolahan tanah konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F., dan Ai Dariah. 1997. Prospek pengembangan teknologi olah tanah konservasi di lahan kering. hlm. 51-64 *dalam* Prosiding Simposium Nasional dan Kongres VI Peragi. Jakarta, 25-27 Juni 1996. Perhimpunan Agronomi Indonesia.
- Arya, L.M., T.S. Dierolf, B. Rusman, A. Sofyan, and I P.G. Widjaja Adhi. 1992. Soil Structure Effects on Hydrologic Processes and Crop Water Availability in Ultisol and Oxisol of Sitiung, Indonesia. *Tropsoils Bulletin* No. 92-03. NCSU, Raleigh, NC.
- Badan Litbang Pertanian. 1998. Pengkajian Peningkatan Intensitas Pertanaman Padi (SUP300) Pada Lahan Irigasi Jatiluhur, Jawa Barat.
- Beauchamp, E.G., and D.J. Hume. 1997. Agricultural soil manipulation: The use of bacteria, manuring, and plowing. p. 643-664. *In* J.D. Van Elsas, J.T. Trevor, E.M.H. Wellington (Eds.) *Modern Soil Microbiology*. Marcel Dekker, Inc.
- Blevins, R.L., W.W. Frye, and M.S. Smith. 1985. The effects of conservation tillage on soil properties. p. 99-100. *In* F.M. D'Itri (Ed.). *A System Approach to Conservation Tillage*. Lewis Publishers, Inc.
- Brown, R.E, J.L. Havlin, D.J. Lyons, C.R. Fenster, and G.A. Peterson. 1991. Long-term tillage and nitrogen effects on wheat production in a wheat fallow rotation. p. 326 *In* *Agronomy Abstracts*. Annual Meetings ASA, CSSA, and SSSA, Denver Colorado, Oct 27 – Nov 1, 1991.
- Carter, M.R., E.G. Gregorich, D.W. Anderson, J.W. Doran, H.H. Janzen, and F.J. Pierce. 1997. Concepts of soil quality and their significance. p. 15-38. *In* Gregorich, E.G. and M.R. Carter (Eds.), *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Cassel, D. K. 1982. Tillage effects on soil bulk density and mechanical impedance. p. 534-572. *In* *Predicting Tillage Effects on Soil Physical Properties and Processes*. ASA Special Publication No. 44.

- Dick, W.A., and D.M. van Doren Jr. 1985. Continuous tillage and rotation combination effects on corn, soybean, and oat yields. *Agron J.* 77: 459-465.
- Doran, J.W., and D.M. Linn. 1994. Microbial ecology of conservation management systems. p. 1-27. *In* J.L. Hatfield and B.A. Stewart (Eds.) *Soil Biology Effects on Soil Quality*. CRC Press, Boca Raton. Florida.
- Edwards, W.M. 1991. Soil structure: processes and management. p. 7-14. *In* Lal, R. and F.J. Pierce (Eds.). *Soil Management for Sustainability*. Soil and Water Conservation Soc. 7515 Northeast Ankeny Road Ankeny, Iowa 50021 *in cooperation with* the Association of Soil and Water Conserv. And the Soil Sci. Soc. of America.
- Elliott, E. T. 1986. Aggregate structure, and C, N, and P in native and cultivated soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 627-633.
- Gill, W. R., and G. E. Vanden Berg. 1967. *Soil Dynamics in Tillage and Traction*. USDA Agric. Handb. N. 316. U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
- Griffith, D.R., E.J. Kladvko, J.V. Mannering, T.D. West, and S.D. Parsons. 1988. Long-term tillage and rotation effects on corn growth and yield on high and low organic matter, poorly drained soils. *Agron. J.* 80: 599-605.
- Gupta, V.V.S.R. 1993. The impacts of soil fauna and crop management practices on the dynamics of soil microfauna and mesofauna. p. 107-124. *In* C.E. Pankhurst, B.M. Doube, V.V.S.R. Gupta, and P.R. Grace (Eds.) *Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems*. CSIRO Press, Melbourne, Australia.
- Jones, N., J., J.E. Moody, and J.H. Lillard. 1969. Effects of tillage, no tillage, and mulch on soil water and plant growth. *Agron. J.* 61: 719-721.

- Kasno, A., J. Sri Adiningsih, D. Santoso, dan D. Nursamsi. 1998. Pengelolaan hara terpadu untuk meningkatkan dan mempertahankan produktivitas lahan kering masam. hlm. 161-178. *dalam* Kurnia *et al.* (Eds.). Prosiding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat: Bidang Kimia dan Biologi Tanah. Bogor, 10 Februari 1998. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Ketcheson, J.W. 1980. Effect of tillage on fertilizer requirements for corn on a silt loam soil. *Agron. J.* 72: 40-542.
- Knith, S. J., and D.R. Freitag. 1962. Measurement of soil tropicability characteristics. *Trans. of the ASAE.* 5: 121-125.
- Larson, W. E., and G. J. Osborne. 1982. Tillage accomplishments and potential. *In* Predicting Tillage Effects on Soil Physical Properties and Processes. ASA Special Publication No. 44.
- Lindstrom, J.J., S.C. Gupta, C.A. Onstad, W.E.Larson, and P.F. Holt. 1979. Tillage and crop residues effects on soil erosion in the corn belt. *J. Soil Water Conserv.* 34: 80-82.
- Liwang, T. 1995. Pengaruh beberapa sistem pengolahan tanah terhadap erosi dan limpasan permukaan (*run-off*) pada tanah Andosol. hlm. *dalam* Prosiding Seminar Nasional V Budidaya Pertanian Olah Tanah Konservasi. Bandar Lampung.

- Mannering, J.V., and C.R. Fenster. 1983. What is conservation tillage?. *J. Soil and Water Conserv.* 38: 151-154.
- Mazurak, A. P., and K. Pohlman. 1968. Growth of corn and soybean seedlings as related to soil compaction and matrix suction. Paper presented at the 9th International Soil Conference.
- McGregor, K.C., J.D. Greer, and G.E. Gurley. 1975. Erosion control with no-till cropping practices. *Trans. ASAE* 18(5): 918-920.
- Pankhurst, C.E., and J.M. Lynch. 1993. The role of soil biota in sustainable agriculture. p 3-9. *In* C.E. Pankhurst, B.M. Doube, V.V.S.R. Gupta, and P.R. Grace (Eds.) *Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems*. CSIRO Press, Melbourne, Australia.
- Paul, E. A., and F.E. Clark. 1996. *Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, Inc. USA.
- Philips, S.H., and H.M. Young Jr. 1973. *No-tillage Farming*. Reiman Associate, Milwaukee, Wisconsin.
- Rachman, A., S.H. Anderson, C.J. Gantzer, and A.L. Thompson. 2003. Influence of long-term cropping systems on soil physical properties related to soil erodibility. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 637-644.
- Rachman, A., S.H. Anderson, C.J. Gantzer, and E.E. Alberts. 2004. Soil hydraulic properties influenced by stiff-stemmed grass hedge systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1.386-1.393.

- Rao, S.C., and T.H. Dao. 1991. Tillage and N management effects on the yield and N-use efficiency in winter wheat. p. 339. *In* Agronomy Abstract. Annual Meeting, ASA, CSSA, and SSSA, Denver Colorado, Oct. 27 - Nov.1, 1991.
- Shear, G. M., and W. W. Moschler. 1969. Continuous corn by the no-tillage and conventional tillage methods: A six-year comparison. *Agron. J.* 61: 524-526.
- Sinukaban, N. 1990. Pengaruh pengolahan tanah konservasi dan pemberian mulsa jerami terhadap produksi tanaman pangan dan erosi hara. *Pembrit. Penel. Tanah dan Pupuk* 9: 32-38.
- Suwardjo, H., A. Abdurachman, and S. Abujamin. 1989. The use of crop residue mulch to minimize tillage frequency. *Pembrit. Penel. Tanah dan Pupuk* 8: 31-37.
- Suwardjo, H. 1981. Peranan Sisa-sisa Tanaman dalam Konservasi Tanah dan Air pada Usaha Tani Tanaman Semusim. Disertasi Doktor Sekolah Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Swan, J.B., W.H. Paulson, A.E. Peterson, and R.L. Higgs. 1991. Tillage-residue management effects on seedbed physical conditions corn growth and yield. p. 343. *In* Agronomy Abstract. Annual Meetings, ASA, CSSA, and SSSA, Denver Colorado, Oct. 27 – Nov. 1, 1991.
- Tate, R. L. 1987. Soil Organic Matter: Biological and Ecological Effects. Wiley/Interscience, New York, NY, USA.

- Taylor, H. M., G. M. Roberston, and J. J. Parker Jnr. 1966. Soil strength-root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. *Soil Sci.* 102: 18-22.
- Taylor, H.M., and L.F. Ratliff. 1969. Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and soil water content. *Soil Sci.* 108:113-119.
- Undang Kurnia. 1996. Kajian Metode Rrehabilitasi Lahan untuk Meningkatkan dan Melestarikan Produktivitas Tanah. Disertasi Doktor Program Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Utomo, M. 1995. Kekerasan tanah dan serapan hara tanaman jagung pada olah tanah konservasi jangka panjang. *J. Tanah Trop.* 1:1-7.
- Wagger, M.G., and H.P. Denton. 1991. Consequences of continuous and alternating tillage regimes on residue cover and grain yield in a corn-soybean rotation. *p. 344 In Agronomy Abstracts. Annual Meetings ASA, CSSA, and SSSA, Denver Colorado, Oct 27 – Nov 1, 1991.*
- Webber III, C.L., M.R. Gebhardt, and H.O. Kerr. 1987. Effects of tillage on soybean growth and seed production. *Agron. J.* 79: 952-956.