

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).



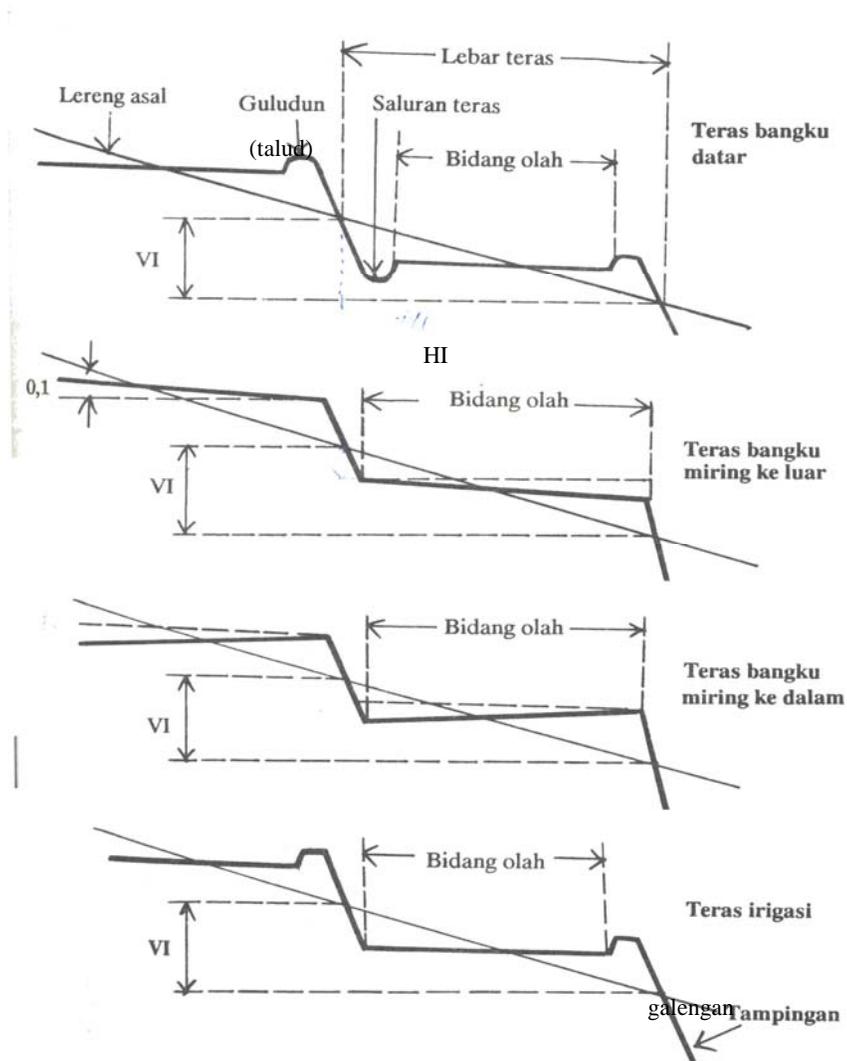
Gambar 1. Teras bangku (belum ditanami tanaman penguat teras) pada usaha tani lahan kering di DAS Cimanuk Hulu (Foto: F. Agus)

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).



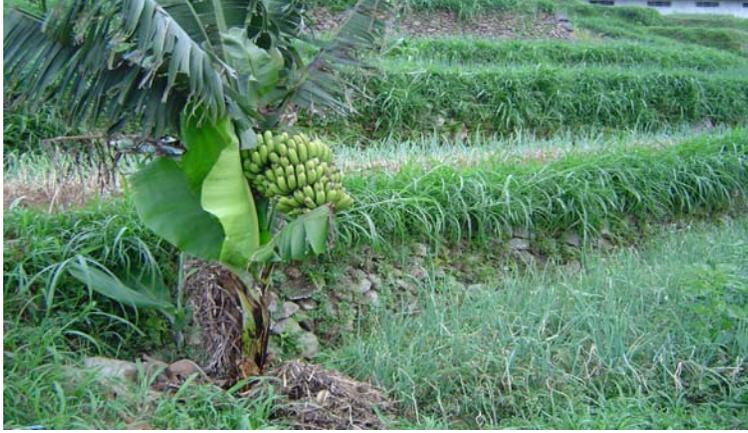
Keterangan: VI= vertikal interval, HI=horizontal interval

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 bede (*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*), bede (*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

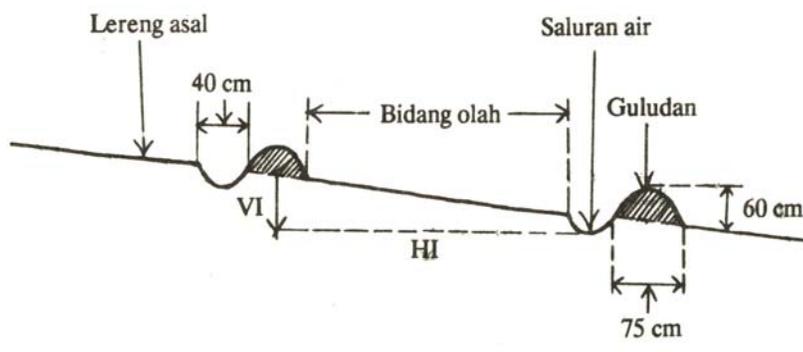
Lereng	Jumlah teras	Berkurangnya luas permukaan bidang olah lahan					Total	
		D	T	P	B	S	m ² ha ^{-1*}	%
%		m ²						
10	10	43	500	300	500	150	1.493	14,93
15	15	89	748	449	748	150	2.184	21,84
20	20	144	999	600	999	150	2.892	28,92
25	24	202	1.247	748	1.247	150	3.594	35,94
30	29	257	1.498	899	1.498	150	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=lampiran (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

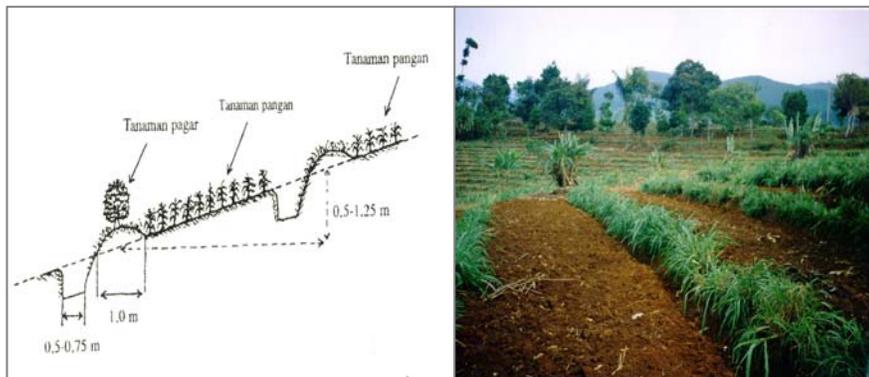
Lereng	Jumlah gulud	Berkurangnya luas permukaan bidang olah lahan **	
		m ² ha ⁻¹ *	%
5	4	390	3,90
10	8	630	6,30
15	12	870	8,70
20	16	1.110	11,10
25	21	1.410	14,10
30	25	1.650	16,50

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.



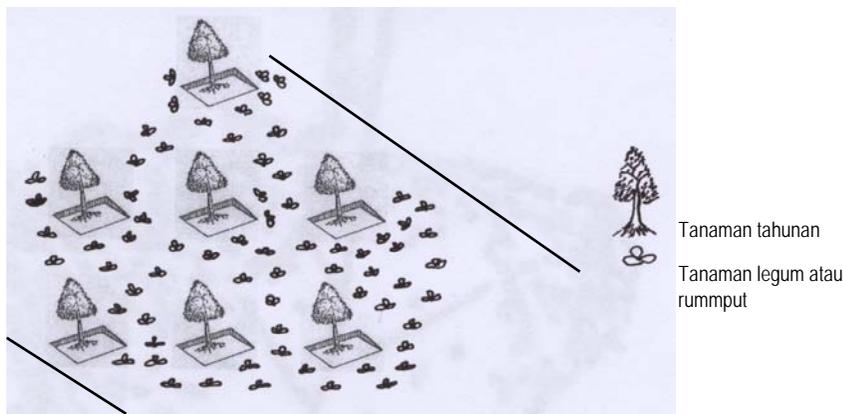
Gambar 6. Penampang samping teras kredit dan strip rumput yang mulai membentuk teras kredit (Skesa dan foto: F. Agus)

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.

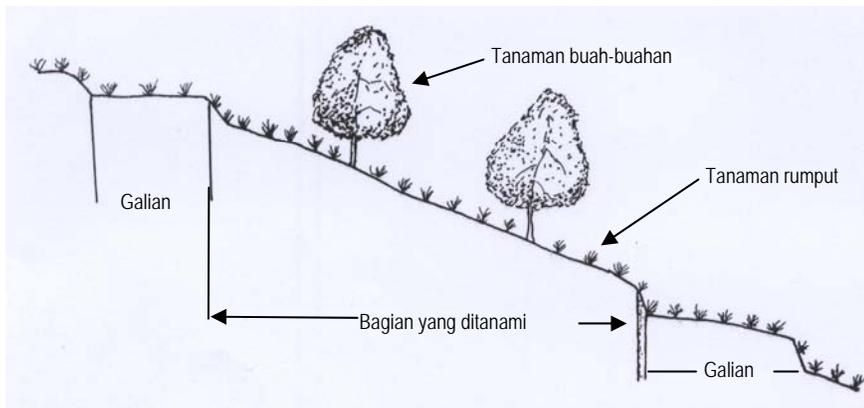


Gambar 7. Sketsa teras individu pada pertanaman tanaman tahunan (Sketsa: S. Marwanto)

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 dteras 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

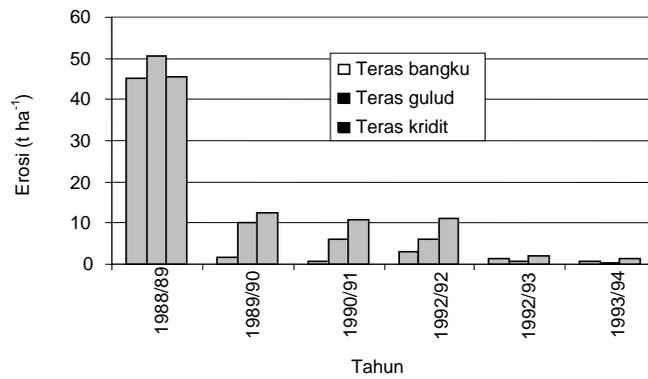
Lokasi; lereng; tanah	Perlakuan	Tanaman	Aliran permukaan	Erosi	TSL*		Sumber**
					mm	t ha ⁻¹ tahun ⁻¹	
Darmaga, Jabar; 15 – 22%; Haplorthox	Teras bangku	Kosong/bera	% hujan 19,00	t ha ⁻¹ 7,09	1,6	19,2	Abujamin dan Suwardjo, 1979
	Tanpa teras		27,77	264,25			
Tanjungharjo, DIY; 10%; Troporthents	Teras 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			
Srimulyo, 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)		16,0	8,5			
	Teras individu II	Tanaman tahunan+rumpul+LCC+LTC	20,9	3,3			
Sitiung, Sumbar; 18-14%; Tropudults	Teras bangku (I)	Jagung	-	0,28	1,2	14,4	Tala'ohu et al., 1992
	Teras bangku (III)		-	0,00			

*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	
	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+rumpul/legum penguat teras, G=teras gulud+rumpul/legum penguat teras, I = teras individu+rumpul/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 m^3 , 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.

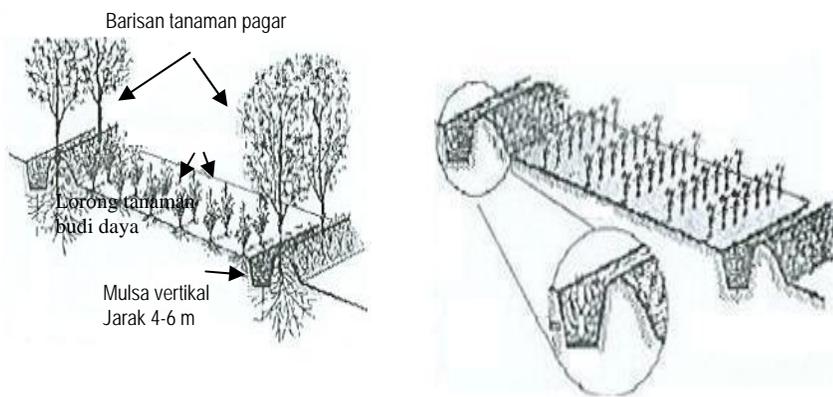
Beberapa hasil penelitian menunjukkan rorak sangat efektif dalam mengendalikan erosi dan aliran permukaan. Rorak yang dikombinasikan dengan mulsa vertikal mampu mengurangi erosi sampai 94% dari erosi pada petak tanpa teknik konservasi tanah. Teknik tersebut juga merupakan suatu cara pemanenan air yang 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/*slot 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 perbaikan 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

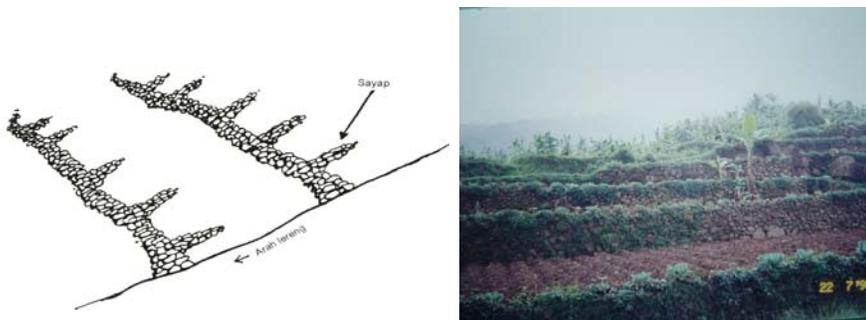
Keterangan: (1) bahan mulsa yang digunakan jerami padi setara dengan 3 t ha⁻¹; (2) cacing yang diberikan berjumlah 100 ekor, disebarakan merata ke setiap saluran; (3) ukuran saluran teras gulud dan saluran yang diisi mulsa (mulsa vertikal) 25cmx25cmx200cm; (4) pengukuran selama dua musim tanam (jagung 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 konservasi 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 Widiyanto, 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: Haryati)



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

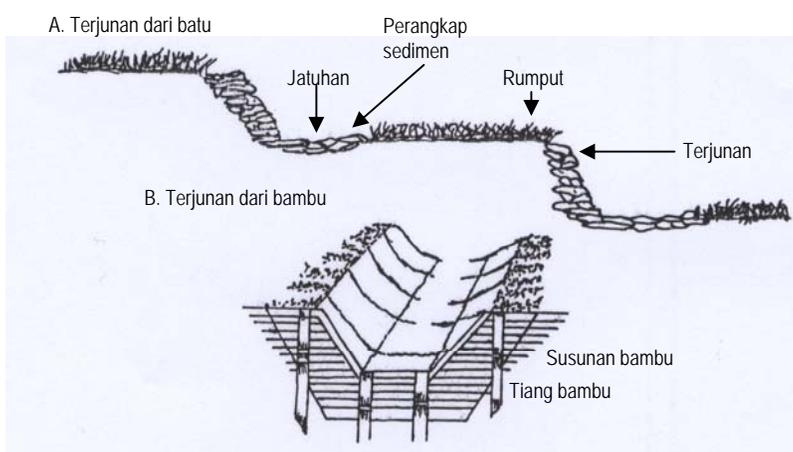
Saluran teras pada teras bangku merupakan saluran yang terletak dekat perpotongan antara bidang olah dan tampungan teras (Gambar 16), sedangkan pada teras gulud terletak tepat di atas guludan. Saluran teras dibuat agar air yang mengalir dari bidang olah dapat dialirkan secara aman ke saluran pembuangan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



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 Lugas 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 Aviation 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. Englewood Cliffs, New Jersey.