

Ir. Joko Triwanto, MP

Konservasi Lahan Hutan



Pengelolaan Daerah
Aliran Sungai



Joko Triwanto

Konservasi Lahan Hutan
&
Pengelolaan
Daerah Aliran Sungai



Penerbit Universitas Muhammadiyah Malang

Konservasi Lahan Hutan dan
Pengelolaan Daerah Aliran Sungai

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
© Penerbit Universitas Muhammadiyah Malang

Cetakan Pertama, November 2023

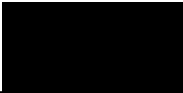
xiv + 226 hlm.; 15,5 cm x 23 cm
ISBN : 978-979-796-224-1

Penulis : Joko Triwanto
Setting Layout : Ahmad Andi Firmansah
Desain Cover : Ridlo Setiono

Penerbit Universitas Muhammadiyah Malang
Jl. Raya Tlogomas No. 246 Malang 65144
Telepon: 0812 1612 6067, (0341) 464318 Psw. 140
Fax. (0341) 460435
E-mail: ummpress@umm.ac.id
<http://ummpress.umm.ac.id>
Anggota IKAPI Nomor: 183/Anggota Luar Biasa/JTI/2017
Anggota APPTI Nomor: 002.061.1.10.2018

**Sanksi Pelanggaran Pasal 113
Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014
tentang Hak Cipta**

- (1) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 100.000.000 (seratus juta rupiah).
- (2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- (3) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- (4) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).



Prakata

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan kasih karunia dan hidayah serta bimbingan-Nya jualah akhirnya penyusunan buku ajar **“Konservasi Lahan Hutan Dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai”** dapat terselesaikan. Buku ajar ini telah lama menjadi cita-cita dan harapan penulis untuk dapat diselesaikan dalam waktu relatif singkat, namun karena kesibukan dan kurang disiplinnya penulis dalam mengatur waktu, maka baru saat inilah dapat diwujudkan.

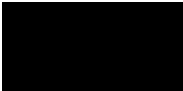
Secara jujur dalam kesempatan ini dapat dikatakan, bahwa buku ajar ini bukanlah pemikiran murni dari penulis sendiri, namun sebenarnya adalah banyak karya orang lain. Namun demikian, itikat baik (*good will*) penulis untuk membuat buku ajar ini semata-mata bermaksud untuk membantu dalam proses belajar mengajar, khususnya pada mata kuliah Konservasi Tanah dan Air Hutan, karena penulis sadari bahwa untuk memperoleh literatur yang mendukung pemahaman mengenal pengelolaan lahan hutan belum dapat dikatakan banyak. Apalagi semangat mahasiswa untuk *hunting* buku belum menunjukkan ke arah yang menggembirakan, sehingga tepat kiranya buku ajar ini dihadirkan. Dalam buku ini berisi tentang; proses degradasi lahan, konservasi hutan dan lahan, konservasi daerah aliran sungai, proses erosi, faktor-faktor penyebab erosi, pengukuran erosi dan aliran permukaan, penanganan dan usaha pengawetan tanah kritis, program-program manajemen lahan hutan pada daerah aliran sungai, pengelolaan daerah aliran sungai padang rumput, peralatan teknik dalam pengelolaan daerah aliran sungai dan pendidikan perbaikan daerah aliran sungai.

Seperti yang penulis katakan sebelumnya, bahwa terselesaikannya buku ajar ini atas karya-karya orang lain, terutama Chay Asdak, Richard Lee, Arsyad dan Otto Sumarwoto, serta masih banyak lagi nama-nama yang ikut membantu dalam memperkaya penulisan buku ajar ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Oleh sebab itu, dalam kesempatan ini penulis sampaikan terima kasih dan hormat penulis yang sedalam-dalamnya atas bantuan dan sumbangan pemikirannya, semoga bermanfaat bagi para pembaca, khususnya mahasiswa Jurusan Kehutanan.

Akhirnya, tiada gading yang tak retak. Oleh sebab itu, bantuan dan kritik dari semua pihak sangat diharapkan untuk memperkaya penulisan buku ajar di waktu-waktu mendatang. Semoga Allah SWT senantiasa membuka akal pikiran dan mengisinya dengan ilmu dan pengetahuan-Nya yang bermanfaat bagi kita, khususnya bagi para pemerhati hutan dan kehutanan serta pemerhati lingkungan hidup. Amiin.

Malang, November 2023

Penulis

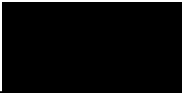


Daftar Isi

Kata Pengantar.....	v
Daftar Isi	vii
Daftar Tabel	ix
Daftar Gambar.....	x
Bab 1 Pendahuluan.....	1
A. Pengertian Konservasi Tanah dan Air	1
B. Ruang Lingkup Konservasi Tanah dan Air.....	2
Bab 2 Proses Degradasi Lahan.....	5
A. Proses Degradasi Lahan	5
B. Lahan Hutan	11
C. Konservasi Tanah di Lahan Hutan Produksi Alam.....	11
Bab 3 Konservasi Hutan dan Lahan	15
A Teknik Konservasi Tanah untuk Jalan Hutan.....	15
B. Konservasi Tanah di Lokasi Tebangan.....	16
C. Konservasi Tanah di Lahan Hutan Tanaman	26
D. Konservasi Tanah di Lokasi PWH	27
E. Konservasi Tanah di Loka Tanaman Budidaya	28
Bab 4 Konservasi Daerah Aliran Sungai.....	31
A. Pengertian Suatu Daerah Aliran Sungai	31
B. Fungsi Suatu Daerah Aliran Sungai.....	31
C. Penentuan Kualitas DAS	32
D. Peranan Hutan dalam Usaha Konservasi DAS.....	36
E. Peranan Hutan terhadap Kualitas Lingkungan	39
F. Peranan Reboisasi dan Penghijauan dalam DAS	41

Bab 5	Proses Erosi.....	43
	A. Proses Terjadinya Erosi.....	43
	B. Mekanisme Terjadinya Erosi	45
	C. Pengaruh Erosi terhadap Fisik Tanah	46
	D. Pengaruh Erosi pada Kesuburan Kimia Tanah	47
	E. Bentuk-bentuk Erosi.....	48
Bab 6	Faktor-faktor Penyebab Erosi.....	59
	A. Erosivitas	60
	B. Erodibilitas	66
Bab 7	Pengukuran Erosi dan Aliran Permukaan	93
	A. Pengamatan Erosi dalam Plot Kecil.....	94
	B. Pengukuran Tabel Tanah yang Tererosi.....	96
	C. Penelitian Erosi di Laboratorium	97
	D. Pendekatan dengan Universal Soil Loss Equation (USLE).....	97
	E. Besarnya Erosi yang Diperkenankan	106
Bab 8	Penanganan dan Usaha Pengawetan Tanah Kritis.....	111
	A. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kritisnya Tanah	111
	B. Kekritisan pada Tanah Kering	114
	C. Harkat Kemampuan Tanah.....	115
	D. Kritis Aktual, Kritis Potensial.....	119
	E. Usaha dan Prinsip Pengawetan Tanah dan Air.....	121
Bab 9	Program-program Manajemen Lahan Hutan pada Daerah Aliran Sungai	135
	A. Manajemen Lahan Hutan dan Fungsi Perlindungan	137
	B. Kegiatan Pembalakan.....	138
	C. Dampak Kebakaran, Serangan Penyakit dan Serangga	140
	D. Manajemen Lahan Hutan dan Debit Air	141
Bab 10	Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Padang Rumput.....	153
	A. Rumput pada DAS.....	154
	B. Pengaruh Penutupan Tanah	155
	C. Rumput Vs Penutup Lainnya.....	157
	D. Erosi pada DAS Padang Rumput.....	159
	E. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Padang Rumput	160
	F. Elemen-elemen Pengelolaan Padang Rumput.....	167
Bab 11	Peralatan Teknik dalam Pengelolaan Daerah Aliran Sungai.....	177
	A. Data Dasar	180
	B. Teras	181
	C. Bangunan Pengalih.....	182
	D. Bangunan Pengendali DAS.....	188
	E. Pertimbangan Administrasi dan Kelembagaan.....	200

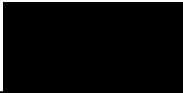
Bab 12 Pendidikan Perbaikan Daerah Aliran Sungai	203
A. Permasalahan Pokok Pendidikan	203
B. Sasaran Pendidikan Pengelolaan DAS.....	205
C. Pendidikan Berarti Meningkatkan Minat dan Pengetahuan.....	210
D. Pendidikan Berarti Meningkatkan Pengetahuan Teknis.	212
E. Perencanaan Program Pendidikan dalam Manajemen DAS.....	215
Daftar Pustaka	219
Glosarium	225



Daftar Tabel

1. Jenis Penutup Tanah dan Besarnya Erosi	37
2. Distribusi Humus, P_2O_5 dan K_2O di dalam Tanah	
Tererosi.	47
3. Pengaruh Jumlah dan Intensitas Hujan terhadap Erosi.....	61
4. Klasifikasi Intensitas Hujan.....	61
5. Hubungan Antara Diameter Butir Hujan, Kecepatan Akhir dan Jangkauan Jatuhnya dari Permukaan Bumi	62
6. Energi Kinetik Hujan dalam Hubungannya dengan ...Diameter, Kecepatan Jatuh dan Jumlah Tetesan Butir Hujan, untuk Curah Hujan dan Intensitas yang Berbeda-beda	63
7. Contoh Perhitungan Erosivitas Hujan.....	65
8. Erodibilitas Beberapa Macam Tanah yang Berasal dari Bahan Induk yang Berbeda	68
9. Komposisi Unsur-unsur pada Jaringan Tanaman Tua dan Bahan Organik Tanah.....	83
10. Harga-harga Kapasitas Infiltrasi Dihubungkan dengan Tekstur Tanah dan Tajuk (Penutup)	85
11. Klasifikasi Infiltrasi Tanah dan Laju Perkolasi	86
12. Pengaruh Panjang Lereng terhadap Penghanyutan Tanah.....	91
13. Pengaruh Kemiringan Tanah terhadap Erosi	91
14. Penilaian Tekstur Lapangan untuk Dipergunakan dalam Nomograf Erodibilitas Tanah.....	101
15. Penilaian Kandungan Bahan Organik	101
16. Penilaian Struktur Tanah	102
17. Penilaian Permeabilitas Tanah	102

18. Nilai Faktor C dengan Pertanaman Tunggal	104
19. Nilai Faktor C dengan Berbagai Pengelolaan Pertanian.	105
20. Nilai Faktor P dengan Teknik Konservasi.....	106
21. Erosi yang Diperkenankan (Dwiatmo, 1982).....	108
22. Erosi yang Diperkenankan	108
23. Berbagai Macam Batas Maksimum Laju Erosi yang dapat Diterima ($\text{kg/m}^2/\text{th}$) untuk Berbagai Macam Kondisi Tanah	109



Daftar Gambar

1. Strategi Pengelolaan Lahan Pertanian	9
2. Strategi Konservasi untuk Lahan Non Pertanian.....	10
3. Erosi	44
4. Perbandingan Laju Gerak Air ke Dalam Tanah Lempung Berpasir dan Lempung Berdebu, Laju Gerak di Tanah Berpasir Jauh Lebih Cepat, Terutama ke Arah Bawah.....	72
5. Lahan yang Tererosi.....	102
6. Strip Cropping	124

Pendahuluan

A. Pengertian Konservasi Tanah dan Air

Konservasi tanah dan air dapat dikategorikan sebagai perpaduan ilmu pengetahuan yang mengembangkan teknologi pengawetan sumber daya alam khususnya sumber daya tanah dan air sebagai faktor penentu kualitas lingkungan hidup.

Konservasi tanah dan air itu sendiri adalah usaha-usaha untuk menjaga dan meningkatkan produktivitas tanah, kualitas dan kuantitas air (Sarief,1985).

Problem yang mendasari saat ini adalah pertambahan penduduk yang selalu meningkat dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam era industrialisasi yang membutuhkan sejumlah tanah satu lahan yang cukup luas untuk aktivitas kehidupan dan pembangunan dalam mensejahterakan umat manusia.

Konsekwensi dalam mengelola sumber daya alam khususnya hutan atau pertanian untuk tujuan lain misalnya untuk pemukiman, industri/ pabrik, jaringan jalan, pertanian/ perkebunan, hutan tanaman industri, transmigrasi, pertambangan, peternakan dan lain-lain yang tentunya akan dapat menimbulkan permasalahan. Hal ini dilakukan tentunya ingin meningkatkan daya guna lahan demi kepentingan umat manusia, pembangunan nasional jangka pendek maupun jangka panjang.

Mengingat jumlah luas tanah/ lahan relatif tetap, bila dikorbankan untuk kebutuhan lain yang lebih mendesak, maka luas lahan akan

berkurang, bila tidak diperhitungkan secara cermat, tidak mustahil kualitas lingkungan hidup mengalami degradasi yang pada akhirnya menimbulkan kerugian dengan biaya mahal untuk memperbaiki dan bahkan dapat menimbulkan malapetaka bagi kehidupan umat manusia.

Seperti kita ketahui bahwa telah banyak dijumpai lahan kritis dikarenakan kerusakan tanah sekaligus menurunkan kualitas dan kuantitas air di sekitarnya. Kerusakan tanah ini tidak saja diakibatkan oleh manusia karena kelalaian atau kesalahan dalam mengelola tanah/ lahan, sehingga tidak disadari dapat menimbulkan risiko terjadinya tanah kritis. Di samping hal tersebut kerusakan tanah dapat juga dikarenakan oleh faktor alam yang tidak mendukung (misal : kondisi letak geografis, topografi, vegetasi, tanah, dan iklim).

Dengan adanya usaha-usaha konservasi tanah dan air, maka diharapkan dari berbagai penelitian dapat diperoleh cara-cara yang tepat untuk mengatasi problem-problem yang dihadapi masa kini maupun masa mendatang, agar tanah dan air yang didambakan dapat berfungsi sebagaimana mestinya.

Namun hal ini dapat disadari bahwa teknologi konservasi tanah dan air yang telah diketahui sampai saat ini tentunya ada yang secara langsung dapat memperbaiki lahan kritis, apakah itu teknologi canggih atau hanya secara tradisional yang biasa dilakukan masyarakat, namun ada pula terpaksa mempergunakan teknologi yang masih meraba-raba dikarenakan yang mantap belum didapatkan teknologi atau belum mampu dilakukan pada lokasi-lokasi tertentu.

B. Ruang Lingkup Konservasi Tanah dan Air

Sekarang timbul pertanyaan lagi tentang ramalan tahun 2010 tentang kegoncangan lingkungan hidup yang diisukan oleh para pakar yaitu naiknya temperatur dunia secara global akibat sisa pembakaran baik dari industri, kendaraan bermotor maupun pembakaran hutan khususnya oleh peladang berpindah atau budaya membakar untuk persiapan lahan tanaman para petani maupun Hutan Tanaman Industri (HTI).

Melihat kenyataan dewasa ini wajar bila kita menguatirkan keadaan tersebut terjadi, maka hendaknya perlu diantisipasi sejak dini upaya mempersiapkan perangkat lunak dan fisiknya. Kegiatan di atas dapat memberikan dampak naiknya kadar gas rumah kaca, menipisnya ozon dan pencemaran udara akibat pembakaran serta *Chloro Fluoro Carbon* (CFC).

Menurunnya kesuburan tanah dan tercemarnya aliran sungai, maka peran teknik-teknik konservasi dapat diharapkan untuk berperan mempertahankan dan meningkatkan ekosistem lingkungan hidup di masa yang akan datang.

Beberapa pakar menetapkan pada dasarnya konservasi tanah dan air dititikberatkan terhadap pencegahan erosi tanah dan kerusakan-kerusakan yang diakibatkannya kepada kualitas air, banjir, tanah longsor, dan juga pengawetan, perbaikan kesuburan tanah dan keindahan alam (Manan, 1976). Sedang konservasi tanah berarti penempatan setiap bidang tanah pada cara penggunaan yang sesuai dengan kemampuan tanah tersebut, dan memperlakukan sesuai dengan syarat-syarat yang diperlukan agar tanah tersebut tidak cepat rusak.

Usaha-usaha konservasi tanah di samping ditujukan untuk mencegah kerusakan tanah akibat erosi dan memperbaiki tanah-tanah yang telah rusak, juga ditujukan untuk menetapkan kelas kemampuan tanah dan tindakan-tindakan atau perlakuan agar tanah tersebut dapat dipergunakan semaksimal mungkin dalam jangka yang tidak terbatas.

Dengan demikian konservasi tanah bukan berarti penundaan penggunaan tanah atau pelarangan penggunaan tanah, namun menyesuaikan macam penggunaannya dan sifat-sifat tanah dan memberikan perlakuan sesuai dengan syarat-syarat yang diperlakukan.

Teknik konservasi dilakukan agar energi perusak (air, hujan dan aliran permukaan) sekecil mungkin, sehingga tidak merusak tanah dan agregat tanah lebih tahan terhadap pukulan air hujan dan permukaan.

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka ada beberapa pendekatan dalam konservasi tanah yakni :

1. Memperbaiki dan menjaga keadaan tanah agar tahan terhadap penghancuran dan pengangkutan serta lebih besar daya menyerap airnya.
2. Menutup tanah dengan tanaman atau sisa-sisa tumbuhan agar terlindung dan pukulan langsung air hujan yang jatuh dan menyuburkan tanah.
3. Mengatur aliran permukaan agar air mengalir dengan kekuatan yang tidak merusak kondisi tanah.

Berhubungan adanya hubungan yang erat sekali antara tanah dan air, bahwa setiap perlakuan yang diberikan kepada permukaan sebidang tanah akan mempengaruhi pula tata air di tempat itu dan hilirnya, maka masalah konservasi tanah dan air merupakan dua hal yang berhubungan erat sekali.

Berbagai tindakan konservasi tanah, maka secara otomatis juga merupakan tindakan konservasi air. Konservasi air pada prinsipnya adalah penggunaan air yang jatuh ke tanah seefisien mungkin, dan pengaturan waktu aliran, sehingga tidak terjadi erosi dan banjir yang merusak pada musim penghujan dan terdapat cukup air pada waktu musim kemarau. Oleh karena itu, tanggung jawab konservasi air adalah:

1. Memelihara jumlah dan kualitas air sebaik mungkin melalui cara pengelolaan dan penggunaan tanah yang tepat, dan
2. Memaksimumkan manfaat air melalui penerapan cara-cara yang efisien (Renne, 1960).

Persoalan konservasi tanah dan air adalah kompleks sekali dan memerlukan kerja sama yang erat dengan berbagai disiplin ilmu pengetahuan seperti ilmu tanah, biologi, hidrologi, dan mekanisasi. Namun bagaimana pun juga pada akhirnya masalah konservasi tanah dan air tidak terlepas dari persoalan manusianya.

Proses Degradasi Lahan

Pada mulanya lahan-lahan di tanah air umumnya merupakan hutan tropika yang subur dan lebat. Lahan hutan yang subur itu dapat kita jumpai di mana-mana mulai dari di daerah pesisir hingga di areal pegunungan. Selain sebagai sumber diperolehnya hasil hutan yang beraneka ragam jenisnya, hutan merupakan habitat dari kehidupan baik tumbuhan maupun binatang yang beraneka ragam. Bertambahnya penduduk menyebabkan bertambah pula kebutuhan mereka akan barang pangan, sandang dan papan. Namun, di beberapa tempat karena belum matangnya perencanaan tata ruang baik secara nasional maupun regional, maka terjadilah penggunaan lahan serampangan apalagi tanpa memperhatikan kelas kemampuan dan tidak dikelola secara baik. Terlepas dengan banyaknya penggunaan lahan yang dilakukan secara serampangan terbukti dengan tingginya laju erosi, ada bukti bahwa penggunaan lahan secara baik menghasilkan laju erosi yang rendah.

A. Proses Degradasi lahan

Degradasi lahan atau "*land degradation*" dapat diartikan sebagai lahan yang tanahnya telah mengalami proses degradasi atau penurunan tingkat produktivitas tanah. Lebih jauh Requier (1977) mendefinisikan degradasi lahan sebagai hasil atau *resultante* dari suatu atau beberapa proses yang dapat mengurangi tingkat kemampuan lahan, baik di masa kini maupun di masa yang akan datang, untuk memproduksi suatu barang dan atau jasa, baik secara kuantitatif maupun kualitatif.

Proses degradasi banyak hubungannya dengan proses-proses perubahan yang terjadi dalam tubuh tanah. Menurut Fauck (1977) ada

3 macam proses perubahan yang terjadi dalam tubuh tanah yaitu :

1. Proses perubahan yang berlangsung dalam jangka panjang sesuai dengan periode-periode proses geologi, disebut pedogenesis.
2. Proses perubahan yang berlangsung dalam kurun waktu setahun, yaitu perubahan-perubahan yang berdaur ulang (*cycle changers*), terutama disebabkan pengaruh faktor-faktor iklim (misalnya musim kering - musim basah). Perubahan pada kandungan bahan organik, kadar nitrogen, dan kemasaman (pH) merupakan contoh yang khas.
3. Proses perubahan yang berlangsung cepat dalam kurun waktu kira-kira satu dekade, tidak berkaitan dengan siklus tahunan. Perubahannya biasanya bersifat *irreversible* dan menyebabkan penurunan potensi tanah untuk berproduksi.

Proses perubahan macam ke-3 adalah proses yang menghantarkan kita kepada proses degradasi tanah. Pada degradasi tanah dikenal degradasi geologi (*natural degradation*) dan degradasi dipercepat (*accelerated degradation*) yang umumnya merupakan akibat ulah manusia. Sebaliknya dari proses degradasi lahan adalah proses agradasi lahan yang merupakan proses peningkatan produktivitas tanah.

Dilihat dari penyebab dan gejalanya, maka proses degradasi lahan ini dapat digolongkan ke dalam enam kategori, yaitu :

1. Erosi oleh air

Dalam kategori ini termasuk proses-proses seperti: *splash erosion*, *sheet erosion*, *gully erosion*, dan macam-macam bentuk bergeraknya massa tanah seperti tanah longsor/ bergerak dan banjir lumpur (*mud-flow*).

2. Erosi oleh angin

Dalam kategori ini termasuk pengikisan dan pengendapan oleh angin dan pengaruh pengikisan oleh benda-benda bergerak yang terangkut oleh angin.

3. Berkelebihan garam

Dalam kategori ini termasuk salinisasi dan sodifikasi/alkalisasi.

4. Degradasi kimia

Dalam kategori ini termasuk pencucian basa-basa dan peningkatan sifat racun beberapa unsur (dibedakan dari keracunan karena kandungan garam berlebihan).

5. Degradasi fisik

Dalam kategori ini dimasukkan perihal perubahan sifat fisik yang tidak menguntungkan, seperti perubahan porositas, permeabilitas, berat isi (*bulk density*), dan stabilitas struktur.

6. Degradasi biologis

Kategori ini mencakup peningkatan laju mineralisasi dari humus.

Erosi telah merugikan penduduk di bagian hulu misalnya daerah-daerah yang mengalami erosi berat terjadi penurunan kualitas tanah, produksi tanaman di daerah itu sangat memprihatinkan.

Proses degradasi lahan dapat mengakibatkan penurunan produktivitas tanah. Setiap penurunan produktivitas tanah akan dipengaruhi oleh macam proses degradasi tertentu. Oleh sebab itu, variasi keadaan lahan akan menunjukkan macam proses degradasi yang berbeda, atau mungkin juga sama dengan tempat lain.

Terjadinya erosi pada lahan yang terbuka yang diikuti oleh hilangnya bahan organik dan pemadatan tanah menyebabkan terjadinya penurunan kapasitas infiltrasi tanah. Akibatnya hujan yang terjadi selanjutnya akan dengan mudah untuk terakumulasi di permukaan membentuk limpasan permukaan (*run-off*), hanya sedikit air yang masuk ke dalam tanah. Itulah sebabnya kenapa pada daerah hulu mengalami erosi berat dan mudah kekurangan air terutama di musim kemarau. Dengan kata lain, kemampuan hidro-orologis daerah itu telah berkurang. Mengatasi kekurangan air seperti ini mau tidak mau selain dengan penghijauan adalah dengan pembuatan kantong-kantong air disebut *embung-embung* (Rahim, 1992).

Akibat erosi yang paling dirasakan di daerah tengah yang dilalui tanah erosi dari lahan atas adalah terjadinya pengendapan bahan endapan pada sumber-sumber air, danau dan bendungan-bendungan yang sejak dasawarsa enam puluhan banyak dibangun di beberapa sungai besar di Indonesia. Di daerah tengah ini terjadi pendangkalan waduk atau juga sungai-sungai, sehingga sering terjadi banjir. Sedimentasi yang terjadi akibat erosi sering mempengaruhi umur efektif dari suatu bendungan.

Untuk daerah hilir, akibat erosi yang paling sering dan paling lama adalah banjir dengan segala konsekuensinya. Bila di bagian hulu kekurangan air untuk kehidupan misalnya air minum dan pengairan. Demikian pula halnya pada daerah hilir sebagai akibat semakin berkurangnya kualitas air.

Atas dasar itu semakin nyata bahwa masalah lahan kritis sebetulnya tidak bisa dipisahkan dengan kualitas pengelolaan lahan

dan atau tanaman. Dan memang telah banyak bukti menunjukkan bahwa lahan yang tidak dikelola sebagaimana mestinya pasti mengalami kemunduran kesuburannya. Kemunduran itu, selain melalui pengurasan unsur hara melalui pembakaran pada permukaan lahan, juga sering terjadi melalui erosi tanah oleh air hujan dan angin penyebab yang betul-betul nyata menurunkan produktivitas tanah.

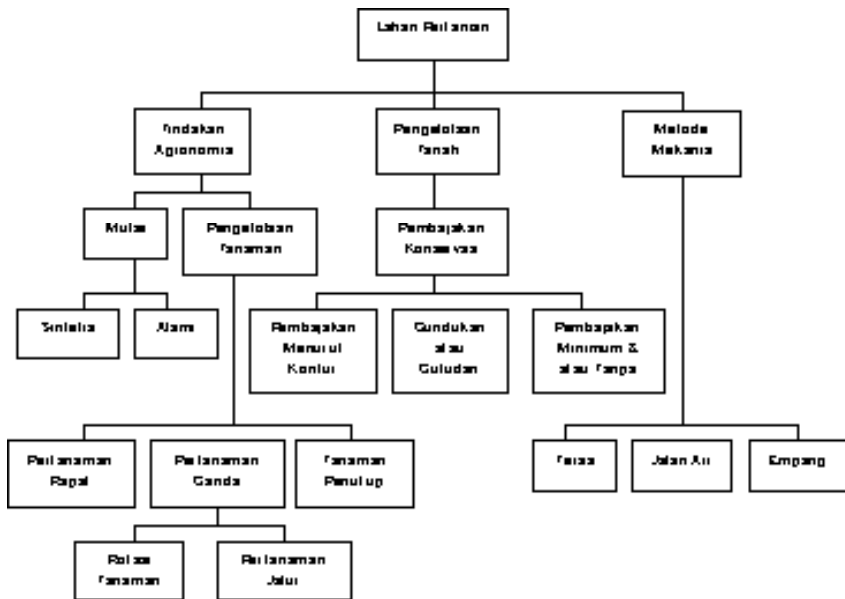
Pembukaan lahan menyebabkan aliran unsur hara keluar. Namun, kehilangan terbesar terjadi pada lahan yang dibuka secara mekanis dengan menggunakan pisau *bulldozer* dan penggarak akar. Sedangkan kehilangan hara terkecil dijumpai pada perlakuan pembukaan hutan secara manual tanpa pengolahan tanah.

Kehilangan unsur hara tersebut sesungguhnya memang menurunkan produktivitas lahan. Bila suatu lahan produktivitasnya telah rendah, maka lahan itu akan ditinggalkan dan selanjutnya secara perlahan-lahan berubah menjadi semak belukar. Lahan seperti ini tergolong tidak produktif. Lahan yang tidak produktif dan telah mengalami kerusakan secara fisik, kimia dan atau biologis untuk selanjutnya merupakan istilah yang digunakan untuk lahan kritis.

Penanganan lahan kritis hingga saat ini memang telah mulai menampilkan hasil yang memadai. Banyak lahan kritis di Jawa menjadi lahan pertanian produktif. Dimana pertanian campuran merupakan tipe usaha tani ideal dan digandrungi masyarakat. Petani dan pemerintah daerah ini patut berbangga hati dengan keberhasilan ini.

Pengendalian erosi sangat bergantung kepada pengelolaan yang baik melalui upaya penutupan lahan atau penanaman tanaman penutup tanah yang baik disertai dengan penyeleksian tindakan pembajakan atau pengolahan tanah yang tepat. Dengan demikian, konservasi tanah sangat bergantung pada tindakan-tindakan agronomis dan pengelolaan tanah yang baik. Sedangkan tindakan mekanik hanya memainkan peranan dan/ atau sebagai penunjang.

Erosi pada lahan yang relatif datar hingga sedikit melandai masih dapat kita tanggulangi dan atau dicegah dengan hanya melakukan tindakan agronomis ditambah dengan pengelolaan tanah saja. Akan tetapi, untuk lahan yang lebih miring dan 9 persen, pengadopsian tindakan mekanik seperti penyertaan gulud dan atau teras perlu diprioritaskan untuk dilaksanakan. Sebab bila tidak, maka erosi akan tetap sebagai ancaman yang besar bagi keberlanjutan penggunaan lahan itu sendiri. Pada gambar 1 bagan berikut sebagai strategi pengelolaan lahan pertanian.



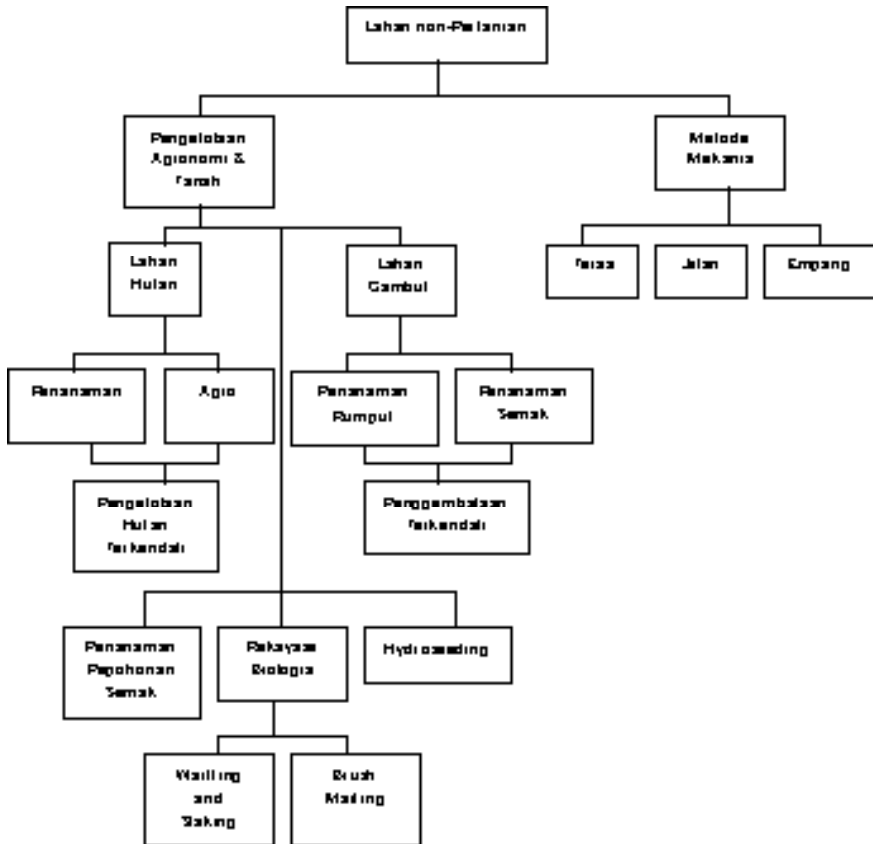
Gambar 1 : Strategi Pengelolaan Lahan Pertanian

Penggunaan sistem teras pada lahan yang dijadikan areal sawah irigasi maupun tadah hujan telah diterapkan di banyak daerah di Indonesia. Lahan seperti itu penggunaannya berlangsung sudah berabad-abad tanpa mengalami pemunduran produktivitas yang berarti.

Untuk menghindari timbulnya permasalahan erosi perlu diupayakan suatu pertanaman yang di satu pihak cepat tumbuh (*fast growing*), cepat menutupi tanah, di lain pihak bisa menghasilkan nilai ekonomis yang tinggi. Di samping itu perlu dicari suatu pertanaman yang merupakan gabungan antara jenis tanaman yang disebut dengan pertanaman ganda (*multi cropping*). Pertanaman jenis ini paling cocok untuk tanaman semusim. Untuk tanaman keras seperti kopi, karet, kelapa sawit dan tanaman pohon buah, sebaiknya disertai dengan tanaman penutup tanah seperti *Callopogonium munconoides* (CM) dan *Centrosema pubescens* (CP). Jenis tanaman hutan yang cepat tumbuh seperti *Anthocephalus cadamba*, *Paraserianthes falcataria*, *Gmelia arborea* dan lain-lainnya

Permasalahan erosi sebetulnya hampir tidak ada bila rumput maupun tegakan hutan atau vegetasi dengan terpelihara baik. Namun permasalahan erosi timbul bila rumput penutup (*cover grass*) digembalai ternak secara berlebihan (*over-grazing*). Selain karena

pengembalaan hewan ternak secara berlebihan permasalahan erosi akan lebih meningkat lagi disebabkan oleh adanya kekeringan yang mengakibatkan matinya rerumputan dan juga terjadinya kebakaran. Gambar berikut menjelaskan skema strategi pengelolaan lahan yang bervegetasi non pertanian.



Gambar 2. Strategi Konservasi untuk Lahan Non Pertanian

(El-Swaify, Dagler dan Armstrong, 1982)

Pengendalian erosi di lahan penggembalaan sesungguhnya sangat ditentukan dengan jalan penentuan secara tepat tentang besarnya jumlah hewan yang bisa digembalakan pada suatu areal padang rumput. Dengan jalan lain istilah jumlah ternak yang digembalakan pada suatu areal padang rumput (*stocking rate*) haruslah tepat. Selain itu pengendalian erosi di lahan penggembalaan juga sangat ditentukan oleh tahan atau tidaknya rumput dan atau semak tahan atau tidaknya

terhadap erosi. Tanaman seperti itu sebaiknya tumbuh sepanjang tahun, tahan terhadap injakan hewan dan disukai hewan (*pallatable*). Pencegahan dan penanggulangan erosi di lahan penggembalaan hewan juga dapat dilakukan dengan pengelolaan tanah, ditambah dengan metode mekanik misalnya dengan penterasan, jalan air dan atau penyertaan empang.

B. Lahan Hutan

Sebetulnya hutan melindungi tanah secara baik. Hutan biasanya menjaga laju evapotranspirasi tetap tinggi. Demikian pula halnya dengan intersepsinya terhadap air hujan dan kapasitas infiltrasi tanah di bawah hutan biasanya tetap tinggi. Dengan demikian, maka jumlah air limpasan yang dihasilkan oleh hutan rendah, sehingga laju erosi tanah di hutan mendekati nol. Adapun yang dimaksud dengan lahan hutan di sini dapat mempunyai dua pengertian, *pertama* adalah lahan yang diperuntukkan sebagai hutan karena tuntutan ekologis. Misalnya daerah dengan ketinggian tertentu dan masuk kategori kawasan lindung dan atau kawasan penyangga. *Kedua*, adalah lahan yang di luar kawasan hutan, namun dilakukan upaya penghutanan kembali misalnya penghijauan, hutan tanaman industri, wanatani (*agroforestry*) dalam bentuk campuran tanaman pangan, tanaman semusim dan tanaman berkayu lainnya yang dapat ditanam di antara tanaman pepohonan dan/atau tanaman hutan. Dengan demikian, maka akan dihasilkan suatu manfaat ganda.

Suatu hal yang patut dikemukakan di sini bahwa tindakan mekanis di lahan hutan menurut beberapa ahli hanyalah sebagai penunjang dalam pengendalian dan atau pencegahan erosi di lahan hutan (Morgan, 1988). Jadi penghutanan kembali dalam jangka waktu panjang akan dapat mengurangi laju muatan sedimen tersuspensi di sungai-sungai dan erosi yang diendapkan.

C. Konservasi Tanah di Lahan Hutan Produksi Alam

Loka rawan rusak di lahan hutan produksi alam ini adalah : (a) jalan hutan, (b) *base camp*, TPn/TPK dan *logpond* dan (c) lokasi tebangan. Kerusakan di jalan hutan, *base camp*, TPn/TPK di *logpond* yang perlu diperhatikan adalah yang disebabkan oleh erosi tanah, dengan bentuk erosi utama adalah : erosi alur, arosi antar alur, erosi selokan dan longsor. Loka rawan erosi di areal tersebut terutama terdapat di badan jalan, saluran pengaturan jalan dan tebing di kanan/kiri badan jalan, *base camp*, TPn/TPK dan *logpond*. Kerusakan di loka tebangan yang

perlu diperhatikan adalah yang disebabkan oleh pemanenan kayu dan erosi tanah. Pemanenan kayu yang berlebihan dengan cara-cara serampangan berpotensi merusak daya dukung tanahnya melalui mekanisme pelindihan hara dan erosi tanah yang secara rampatan menyebabkan penurunan aras kesuburan tanahnya. Loka yang rawan rusak ini terutama di sekitar pohon yang ditebang dan bekas jalan sarad dengan bentuk erosi utama adalah erosi alur dan erosi selokan. Loka lain yang berkemungkinan mengalami erosi adalah tepi pantai dan tepi sungai.

Konservasi tanah di lahan hutan produksi alam ini perlu diterapkan di lokasi pembukaan wilayah hutan (PWH), lokasi tebangan dan lokasi lainnya. Teknik-teknik konservasi tanah yang dapat diterapkan di lokasi-lokasi tersebut antara lain pada :

1. Lokasi PWH Tercepat Beberapa Lokasi Yaitu :
 - a. Lokasi *base camp*, tebing bukit dan TPn/TPK dapat dilakukan dengan cara : penanaman, hamparan/ matras semak, penumpukan semak, anyaman tumbuhan, gulungan batang semak, gebalan rumput, teras, mulsa sintetis dan jebakan endapan.
 - b. Lokasi jalan hutan meliputi : geometri jalan, pengatusan dan pengerasan.
 - c. Lokasi tebangan meliputi : pemanenan konservatif, penanaman dan jebakan endapan.
2. Lokasi Lain (Tepi Pantai dan Tepi Sungai) dapat Dilakukan dengan cara :
 - a. Penanaman
 - b. Biomekanik.

Di lokasi lahan yang miring dengan tanah mantap dan agak curam, cukup menerapkan penanaman biasa untuk menahan tanah di tempat itu, namun dengan jarak tanam lebih rapat. Kerapatan jarak tanam ini bergantung pada erodibilitas tanahnya. Umumnya menggunakan jarak tanam 0,6-1,0m. penanaman benih dilakukan melintang lereng lahan. Jika perlu dapat disertai pemulsaan.

Jenis tumbuhan yang digunakan sesuai dengan keadaan setempat dan dapat memenuhi satu atau beberapa kriteria berikut : (a) mampu tumbuh tanah bekas tererosi, (b) perkembangan perakaran dan pucuk berlangsung cepat untuk segera dapat memberikan perlindungan, (c) mempunyai sistem perakaran dalam, yang mampu menjangkar sampai lapisan bawah permukaan tanah, namun perakaran yang dangkal juga

rapat dapat dipilih karena memberikan keuntungan melalui pengaruh anyamannya, (d) mempunyai tajuk rapat dan menyebar cepat untuk segera memberikan penutupan, (e) mudah dibudidayakan dengan stek, pemangkasan, atau lainnya, (f) tahan terhadap tekan fisis batu atau tanah longsor, (g) tahan terhadap penggenangan berkala. Sulitnya memperoleh suatu jenis yang dapat memenuhi sebagian besar kriteria diatas, mendorong ditempuhnya jalan tengah dengan menerapkan tanaman paduan antara pohon, semak, dan rumput. Penanamannya dilakukan dalam kelompok-kelompok dan kluster, berdampingan atau campuran jenis pohon.

Jenis tumbuhan untuk konservasi tebing jalan atau tebing loka lainnya antara lain adalah sericea (*Lespedea cuneata*). Jenis tumbuhan ini termasuk famili *Legumenoceae* yang terbukti mampu tumbuh bagus pada berbagai keadaan tebing (termasuk di kota kering) dan dapat ditanam di musim hujan atau kemarau dengan menggunakan bijian (Graetz, 1975). Teknik penanamannya dapat dilakukan dengan cara pemulsaan potongan-potongan rumpun tumbuhan ini serta biji-bijiannya.

Pengkondisian tanah dapat digunakan untuk menunjang pemantapan lokasi-lokasi yang sedang dikonservasi dengan metode vegetatif, sebelum pengaruh positif tanaman konservasi tersebut diperoleh. Penggunaannya yang mudah memungkinkan diterapkan untuk menunjang tindakan konservasi di tebing bukit yang curam.

Konservasi Hutan dan Lahan

A. Teknik Konservasi Tanah untuk Jalan Hutan

Sebenarnya masalah erosi di Indonesia sudah lama dikenal dan diperhatikan. Sebagai akibat penggundulan hutan, pertanian ladang, dan penggembalaan liar yang berlebihan di daerah aliran sungai. Sejalan dengan peningkatan kebutuhan manusia sebagai akibat pertambahan penduduk yang sangat cepat, bahaya erosi semakin meningkat dan tanah rusak serta kritis menjadi semakin luas.

Penebangan hutan di Indonesia telah membuka beberapa daerah yang paling terpencil, dan terlarang, di dunia pada pembangunan. Setelah berhasil menebangi banyak hutan di daerah yang tidak terlalu terpencil, perusahaan-perusahaan kayu ini lantas memperluas praktek mereka ke pulau Kalimantan dan Irian Jaya, dimana beberapa tahun terakhir ini banyak petak-petak hutan telah dihabisi. Selain penebangan, pengubahan hutan untuk pertanian ukuran besar, terutama perkebunan kelapa sawit, telah menjadi kontributor penting bagi berkurangnya luasan hutan.

Pelaksanaan konservasi tanah untuk jalan hutan, terutama jalan utama dan jalan cabang dapat dimulai dari saat perencanaannya, yaitu saat menentukan lokasi jalan dan aneka gatra geometrika jalannya. Jalan-jalan hutan tersebut hendaknya dibangun dengan memperhatikan beberapa hal berikut ini :

1. Jalan hutan di lokasi bukitan gunung diupayakan dibangun di bagian teratas lungur.

2. Setiap potongan jalan hutan di lokasi miring dibuat tidak terlalu panjang dengan kemiringan $< 50\%$ lebar badan jalan optimum untuk meminimumkan gali-urug dan kelengkungan badan jalan optimum untuk mempercepat pengeringnya.
3. Jalan hutan dibangun di lokasi-lokasi berpengatusan baik/ tidak becek/ tidak jenuh air untuk sebagian besar waktu di setiap tahunnya.
4. Dilengkapi dengan saluran pembuangan air di kanan-kiri jalan dan pada titik-titik pemusatan air limpasan dibuatkan gorong-gorong (Amaranthus *et.al* 1985).
5. Dilakukan pengerasan badan jalan atau pembersihan penutup pada permukaan badan jalan dengan batu-batu berukuran kecil ($> 3,8$ cm) dan tebal 2.5 cm (Epstein *et.al.* 1966 dan Meyer *et.al.* 1975).

Teknik konservasi tanah yang dapat diterapkan di lokasi tersebut antara lain :

- Pembangunan badan jalan secara geometris konservatif,
- Pembangunan saluran pengatusan di kanan kiri jalan hutan,
- Pengurangan kemiringan tebing,
- Penterasan tebing,
- Penanaman dan
- Pengerasan badan jalan.

B. Konservasi Tanah di Lokasi Tebangan

1. Teknik Konservasi Konvensional

Pelaksanaan konservasi tanah di lokasi tebangan ini dapat dilakukan dengan teknik konvensional, yaitu menerapkan sistem budidaya hutan. Tebang Pilih Tanam Indonesia (TPTI) dengan taat, khususnya pada gatra-gatra kegiatan yang dapat menimbulkan kerusakan pada anasir-anasir lahannya, yaitu pada kegiatan pemanenan (penebangan dan penyaradan). Kegiatan-kegiatan penebangan dan penyaradan ini haruslah diupayakan meminimumkan kerusakan pada penutup tanah (tumbuhan dan serasah) dan tubuh tanahnya dapat diupayakan melalui penentu arah rebah yang tepat dan penggunaan mesin-mesin penyarad kayu yang sesuai dengan tanahnya.

Arah rebah tegakan atau pohon yang ditebang dapat mengurangi risiko kerusakan tegakan tinggal dan keterbukaan tapak hutan. Penebangan hanya dilakukan terhadap pohon-pohon yang bernilai ekonomis tinggi, sedangkan pohon-pohon yang karena penampilan

fisiknya misalnya cacad, bayonet akan mengurangi nilai ekonomisnya, ditinggalkan di lahan. Penyaradan kayu diarahkan untuk menggunakan alat/mesin penyarad kayu dengan memperhatikan pengaruhnya pada tanah dan keekonomisannya.

Upaya mengurangi derajat keterbukaan lahan yang berwujud jalan sarad tidak produktif, diperlukan tindakan-tindakan sebagai berikut :

- Penegakan dan penegasan peraturan yang ada (misalnya ITT). Dalam panduan ITT dijelaskan bahwa sebelum dilakukan penyaradan, setiap regu sarad dilengkapi peta kedudukan pohon dan peta kerja yang memuat rencana arah jalan sarad. Hal itu akan mempermudah operator alat yang memuat rencana arah jalan sarad. Hal itu akan mempermudah operator alat berat mencari kayu yang akan disarad dengan, sehingga dapat mengurangi terjadinya jalan sarad tidak produktif.
- Peningkatan ketrampilan operator alat berat/traktor.
Ketrampilan operator yang sangat mahir akan mengurangi tingkat kerusakan terhadap *seedling*, *sampling*, tiang dan *pole*, serta tapak hutan yang dilalui, sehingga kerusakan akibat penyaradan dapat diperkecil.
- Teknik Tebang Jalur
Teknik tebang jalur ini dilaksanakan dengan menebang habis seluruh pohon yang berada pada suatu jalur tebang. Pelaksanaan teknik ini diawali dengan pembagian blok tebang menjadi beberapa jalur tebang melintang lereng yang masing-masing berukuran 50 m. Penebangan dimulai dari sisi atas lereng dan pelaksanaan penebangan antar jalur tebang dilakukan secara bertahap. Teknik ini cukup efektif mengurangi laju limpasan, laju erosi dan kehilangan hara dari blok tebang dengan melokalisir loka termasuk untuk kala waktu tertentu.

Dampak penebangan atau pembalakan rendah perlu dipertimbangkan sebagai intervensi silvikultur yang terpenting untuk pengelolaan hutan *Dipterocarpaceae* dataran rendah di Indonesia. Pembalakan rendah akan meningkatkan pertumbuhan dari jenis *Dipterocarpaceae* yang mempunyai nilai niagawi tinggi, melalui pengurangan kerusakan terhadap tanah, hidrologi dan tajuk dibandingkan dengan pelaksanaan pembalakan konvensional. Dampak pembalakan rendah bertujuan untuk : mengurangi kerusakan tanah dengan pembatasan ukuran dan intensitas jalan sarad; membatasi ukuran setiap pembukaan tajuk menjadi kurang dari 650 m² dengan menebang 1-2 pohon pembukaan tajuk; membatasi gangguan tajuk

total kurang dari 40% tajuk terbuka dengan mengurangi ekstraksi pohon menjadi delapan batang setiap hektar.

Peremajaan hutan di bekas jalur tebang diharapkan berlangsung secara alami biji-biji yang mencapai loka tersebut berasal dari tegakan tinggal di jalur yang tidak ditebang. Teknik ini juga mengisyaratkan kepentingan pemeliharaan/ pengelolaan hutan riparian sebagai benteng untuk mengurangi bahan-bahan hasil erosi tidak langsung memasuki sungai dengan cara :

a. Teknik Tebang Jalur dan Tanam

Dalam sistem budidaya hutan Tebang Jalur dan Tanam Indonesia (TJTI) di berbagai lokasi. Sistem ini untuk melengkapi sistem budidaya hutan TPTI, yang terdiri dari kegiatan penebangan dalam jalur tebang tertentu yang ditempatkan secara berselang-seling dengan jalur konservasi yang kemudian diikuti kegiatan penanaman pengayaan dan pemeliharaan. Tujuan penerapan sistem budidaya TJTI ini adalah untuk mengatur pemanfaatan lebih banyak hutan-alam produksi, meningkatkan nilai hutan (kualitas dan kuantitas pada areal bekas tebang, sehingga nantinya akan terbentuk suatu tegakan hutan yang diharapkan dapat berfungsi sebagai penghasil kayu penghasil industri dan memudahkan kegiatan pengawasannya.

Untuk jalur tebang dan jalur konservasi berbeda-beda antar keadaan lahan, yang berkisar dari 50 m sampai 200 m. Kegiatan penebangan di jalur tebang dilakukan secara tebang pilih dan merobohkan pohon-pohon yang ditebang ke bidang jalur tebang. Keberadaan pohon induk di sisi jalur tebang diharapkan dapat berperan sebagai penjamin terjadinya suksesi alam yang baik, karena disertai dengan kegiatan pemeliharaan anakan atau tanaman pengayaan secara intensif.

Penerapan TJTI dalam pengelolaan hutan produksi alam mempunyai peluang untuk mengurangi terjadinya kerusakan lahan hutan bekas tebang, karena luas bidang garapan intensifnya terbatas, yaitu di jalur tebang. Untuk memperoleh manfaat besar dari penerapan TJTI perlu memperhatikan beberapa hal antara lain penetapan paduan ukuran jalur tebang dan jalur konservasi yang optimum untuk suatu keadaan lahan, penetapan arah jalur, ketrampilan penumbang dan penggunaan traktor berukuran sedang. Telaah yang dilakukan oleh Tinambunan dan Sutopo (1998) terhadap pelaksanaan uji coba TJTI di beberapa HPH di Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur dan Kalimantan Barat menunjukkan bahwa pemanenan kayu pada jalur tebang berukuran 50 m menimbulkan keterbukaan tanah sekitar 50%. Pemanenan kayu pada jalur tebang berukuran kecil menyulitkan pergerakan traktor untuk menyaradnya,

sehingga menimbulkan tingkat kerusakan pada tanah yang lebih besar daripada jalur berukuran besar. Penggunaan traktor berukuran berat semakin mengintensifkan kerusakan yang terjadi.

b. Teknik Tebang Rumpang

Sagala (1997) menyarankan penggunaan satuan tegakan (*stand unit treatment*) untuk menggantikan pendekatan satuan pohon (*tree unit treatment*) pada sistem budidaya hutan TPTI. Satuan perlakuan (*treatment unit*) atau unit perencanaan (*basic unit of management planning*) merupakan suatu bidang lahan homogen dan letaknya jelas. Bidang lahan yang homogen tersebut dapat dibangun berdasarkan penampilan tanah-iklim-tumbuhan yang homogen, yang selanjutnya disebut satuan sistem ekologi vegetasi atau satuan tegakan. Satuan tegakan yang berada pada suatu petak/blok budidaya disebut kuvio, yang maknanya kurang lebih sama dengan anak petak pada hutan tanaman.

Akibat dari pembalakan di bawah tajuk tegakan yang ditebang akan terjadi perubahan lingkungan sub kanopi, pengurangan keanekaragaman flora dan ketersediaan *ectomycorrhiza* sebagai ketahanan hidup anakan *Dipterocarpaceae*. Gangguan pada tanah karena pembalakan menyebabkan pengurangan yang nyata akan keberadaan dan keanekaragaman jenis-jenis cenawan maupun perubahan pada komposisi jenis. Efek dari pembalakan akan menyebabkan kondisi kurang menguntungkan untuk regenerasi hutan. Gangguan pada tanah yang terbesar karena pembalakan dapat menyebabkan ketidakseimbangan dalam masyarakat cendawan, sehingga proporsi pohon dengan *Micorhiza arbuscular* (pohon pionir) meningkat dan mengurangi jenis-jenis *Dipterocarpaceae* yang lebih komersil.

Pemanenan kayu diarahkan dilakukan di dalam kuvio-kuvio tersebut, yaitu pada lokasi tebang yang disebut rumpang. Suatu kuvio terdiri dari 1 rumpang. Antar rumpang di dalam suatu kuvio dihubungkan dengan jalan sarad. Kumpulan rumpang seumur pada suatu jalan sarad itulah yang disebut kuvio. Rumpang-rumpang tersebut mempunyai ukuran lebar 1-1,5 kali tinggi pohon tepi atau 30-40 m atau berukuran luas 2.000-3.000 m² atau 4-6 buah rumpang menempati bidang lahan dengan luas sekitar 1 ha.

Penebangan dilakukan dengan teknik tebang habis di dalam rumpang (tebang rumpang) dengan pohon-pohon yang ditebang diarahkan ke dalam rumpang. Semua jenis pohon dengan berbagai ukuran garis tengah batang, rotan, pandan, tumbuhan obat, anggrek dan lainnya, dipanen. Anakan berbagai jenis tumbuhan yang ditinggalkan di rumpang digunakan sebagai bahan tegakan, yang

nantinya diharapkan membentuk tegakan seumur berlapis, serupa tegakan hutan alam. Pohon-pohon tepi rumpang tidak ditebang karena termasuk kantong pelestarian, tidak dilakukan penanaman, pengayaan dan penjarangan. Teknik tebang rumpang ini disarankan untuk diterapkan pada rumpang-rumpang yang dirajai oleh jenis-jenis meranti, merbau, nyatoh, medang dan beberapa jenis lainnya.

2. Konservasi Tanah di Lokasi Tepi Laut dan Tepi Sungai

a. Teknik Konservasi Pantai

Lokasi pantai yang rawan abrasi atau telah tererosi dapat dikonservasi dengan berbagai teknik, antara lain : 1) teknik penanaman, 2) teknik bongkah batu/beton pemecah ombak dan 3) teknik tanggul padat. Kehadiran bangunan konservasi itu dapat berperan sebagai pemecah ombak, pengendali arus, pemantap endapan pantai dan pengendali laju erosi pantai.

Konservasi lokasi tepi laut dengan teknik penanaman dapat menggunakan berbagai jenis tumbuhan penyusun hutan mangrove, misalnya : bakau laki (*Rhizophora apiculata*), bakau bini (*R. mucronata*), salak-salak (*Bruguiera gymnorhiza*) dan lengadai (*B. parviflora*) dan rumput laut/lamun-lamun/lelamun, misalnya : *Enhalus acoroides*, *Halodule pinifolia*, *H. wrightii*, *Halophila minor* dan *H. decipiens*. Kehadiran padang lamun di daerah pasang surut terletak di garis pantai dengan kedalaman 1-4 m, sehingga terkadang di daerah yang air pasangannya tinggi, masyarakat tumbuhan ini mencapai tinggi 2 m. Lelamun *E. acoroides* biasanya tumbuh di sekitar hutan mangrove, memiliki akar yang panjang, sehingga mampu menjangkau/ menembus lapisan lumpur.

Teknik konservasi dengan bongkah batu/ beton menggunakan bongkah-bongkah batu besar dan galir atau kubus-kubus beton yang dihamparkan di lokasi yang akan dikonservasi. Hamparan bongkah batu/beton ini dapat dibuat beberapa lapis dan untuk mencegah terserak oleh gempuran ombak dapat dikarungi anyaman kawat yang terpancang kuat di dasar laut. Kehadiran bongkah batu/ kubus beton ini untuk memecah tenaga gempuran ombak, sehingga mencapai tepi pantai tidak terlalu abrasif dan untuk menjebak endapannya.

Teknik tanggul padat dibangun untuk menahan gempuran ombak, sehingga air laut yang mencapai pantai mempunyai volume dan kecepatan tidak abrasif. Bangunan konservasi ini dapat dibuat dari beton pejal atau pasangan batu tersemen. Biaya pembangunannya mahal, sehingga diterapkan secara terbatas untuk melindungi lokasi-lokasi pantai bernilai ekonomis tinggi, misalnya : halaman hotel berbintang lima.

b. Teknik Konservasi Tepi Sungai

Perilaku air sungai yang erosi sering menyebabkan sebagian tebing sungai terkoyak, khususnya bagian yang tidak tertutupi tumbuhan. Bentuk erosi tebing sungai yang banyak dijumpai disebabkan adanya arus sungai yang mengandung endapan banyak. Bagian tebing sungai yang kurang/tidak kebal adalah lengkung sebelah luar, yaitu loka aliran air sungai menggerus dan memotong tebing, sedangkan pada lengkung sebelah dalam akan terjadi pengendapan.

Teknik konservasi untuk mencegah dan memperbaiki erosi sepanjang tepi sungai dapat dipilih menjadi empat kelompok, yaitu: 1) teknik tindakan darurat, 2) teknik trucuk, 3) teknik penanaman dan 4) teknik bangunan padat. Keberhasilan teknik-teknik konservasi ini sangat bergantung pada upaya perbaikan daerah tangkapan, yang harus dilakukan sebelum teknik-teknik di atas dilaksanakan.

1) Teknik Tindakan Darurat

Teknik ini hanya sebagai langkah awal untuk mengendalikan erosi di tebing sungai, yang antara lain terdiri dari :

a) Teknik Raumbaum

Teknik ini digunakan untuk melindungi tebing sungai yang runtuh tergerus aliran air sehingga laju penggerusannya terminimumkan, terutama selama berlangsungnya banjir. Teknik ini dilakukan dengan menempatkan potongan pohon bagian atas yang bercabang-cabang merapat tebing sepanjang bagian yang rusak tergerus, dengan bagian bawah potongan pohon itu berada paling dekat hulu sungai. Potongan pohon tersebut dipasak ke tebing sungai supaya tidak hanyut.

Fungsi potongan pohon itu adalah mengurangi kecepatan aliran air sepanjang tebing sungai. Untuk melindungi tebing sungai yang panjang, maka diperlukan beberapa baris potongan kayu yang ditempatkan dalam susunan serupa rusuk-rusuk atap rumah.

b) Teknik Penahan Arus Sementara

Teknik dapat digunakan pada sungai yang lebar dan dangkal atau pada anak sungai. Kegunaan teknik ini adalah untuk mengubah arah arus, kecepatan arus dan laju pengendapan. Penahan arus yang mengarah ke hulu akan meningkatkan pengendapan, sedangkan ujung yang mengarah ke hilir akan mengarahkan aliran air sungai menuju tebing lain, sehingga berarah acak terhadap arus, dan ini akan memberikan perlindungan pada tebing sungai yang sedang dikonservasi.

Pelaksanaan teknik ini diawali dengan menancapkan tonggak-tonggak kayu berdiameter > 15 cm ke dasar sungai dan untuk memperkokoh kedudukan tonggak tersebut dapat diberi penopang. Di sisi muka tonggak-tonggak kayu itu diberi dahan kayu yang diletakkan secara mendatar melintang arus sungai, sehingga jika terkena arus akan tertahan kuat pada tonggak-tonggak tersebut. Jarak antar penahan arus ini adalah 1-2 kali panjang efektifnya.

c) Teknik Pasak Tebing

Teknik ini lazim digunakan untuk mengendalikan erosi di bagian bawah tebing sungai. Pada bagian tebing yang tererosi diisi ranting/cabang pohon atau kayu semak, dan di sisi depannya ditahan dengan pasak. Untuk mencegah bahan-bahan tersebut hanyut, maka pasaknya ditancapkan dalam kedudukan miring atau tegak lurus tetapi harus dikaitkan ke penahan lain.

2) Teknik Trucuk

Teknik ini menggunakan bahan dasar tumbuh-tumbuhan berwujud semak belukar yang mudah bertunas, dan jika diperlukan dengan bahan konservasi lainnya, misalnya, tonggak kayu dan batu. Macam teknik trucuk yang umum digunakan adalah : a) penahan arus bersemak, b) riprap berstek, c) paduan longgokan batu dan semak dan d) penutupan semak dan gulungan batang semak.

a) Teknik Penahan Arus Bersemak

Teknik ini dilaksanakan selama air surut, sehingga tebing sungai yang akan dikonservasi berada di atas muka air. Kehadiran bangunan penahan arus akan memicu pengendapan bahan-bahan halus di sisi yang mengarah ke hulu karena adanya pengurangan kecepatan aliran air sungai. Pemilihan loka yang tepat memungkinkan untuk mengubah arah arus air sungai.

b) Teknik Riprap Berstek

Teknik ini diterapkan dengan terlebih dahulu mengurangi derajat kemiringan tebing sampai 45° dan meratakannya. Pada kaki tebing dibuat lubang untuk pondasi. Bahan-bahan riprap dipasang dengan cara biasa dan di sebelah atas dari muka air sungai terendah dilakukan penanaman stek di antara batu-batu bangunan riprap. Peningkatan mutu pertumbuhan stek dapat dipacu dengan penggunaan tanah lapisan atas yang subur. Ketinggian bangunan riprap itu

haruslah mencapai ketinggian muka air sungai menengah. Di sebelah atas bangunan riprap dapat ditanami semak belukar untuk memperkuat tebing. Teknik ini dapat diterapkan di sungai-sungai sempit dan berdinding curam.

c) Teknik Paduan Longgokan Batu dan Semak

Teknik ini digunakan untuk mengkonservasi tebing sungai yang runtuh dan berada di sisi luar lengkungan aliran air sungai dengan kecepatan dan kapasitas angkut endapan tinggi. Pembangunan bangunan konservasi ini dimulai dengan menancapkan pasak-pasak penahan ke dasar sungai dan mengisi bagian dalam tebing dengan tanah yang subur untuk memperoleh pertumbuhan semak yang baik. Pada dasar sungai pada bagian tebing yang runtuh diberi batu galir berukuran cukup besar dan di atasnya diletakkan cabang berukuran besar dari jenis tumbuhan mudah bertunas dengan kedudukan agak mendatar. Di atas cabang itu secara bergantian ditempatkan batu galir dan cabang sampai permukaan tanah. Kemiringan permukaan bangunan tersebut 45° dan untuk memadatkan bangunan, di antara batu dan cabang kayu itu kemudian diisi tanah urugan. Teknik ini dapat dimodifikasi dengan meletakkan cabang kayu yang digunakan pada kedudukan lebih tegak terhadap lantai sungai. Tunas ujung pada cabang-cabang itu diusahakan berada di bawah garis air atau ditimbuni tanah. Batu galir yang diisikan di antara cabang-cabang tersebut sampai sekitar 50 cm dari ujung cabang-cabang kayu tersebut. Semak-semak pada bangunan konservasi ini berguna mengurangi kecepatan aliran air sungai, sehingga endapan yang terbawa dapat mengisi celah-celah di antara batu galir yang ada.

d) Teknik Penutupan Semak dan Gulungan Batang Semak

Teknik ini hanya dapat digunakan untuk memantapkan tebing sungai yang berada di sebelah atas muka air sungai terendah. Bagian tebing sebelah bawah bangunan ini sampai dasar sungainya membutuhkan perlindungan khusus untuk mencegah penggerusan. Teknik ini diterapkan dengan terlebih dahulu menguraikan kemiringan tebing sampai 45° dan pada bagian dasar tebing yang akan dimantapkan dibuat lubang berukuran lebar 25 cm dan jeluk 15 cm. Gulungan kayunya diletakkan di dalam lubang itu dengan kedudukan melintang tebing dan semak-semaknya diletakkan merapat tebing dengan bagian pucuknya berada di sisi atas tebing.

Keberadaan semak di tebing dipertahankan dengan bantuan pasak berukuran agak besar dan diikat kawat. Kemantapan bangunan ini bergantung pada ketangguhan peran pasak-pasak kayu tersebut. Sebagian bidang tebing yang dimantapkan itu bisa diberi tanah subur untuk memacu pertumbuhan semaknya.

3) Teknik Penanaman

Teknik ini digunakan mengkonservasi tebing-tebing danau saluran irigasi atau tebing sungai dengan ketinggian muka air nisbi tetap dan alirannya lambat. Macam teknik ini yang akan diterapkan di suatu sungai bergantung pada keadaan lantai sungai (lebar atau sempit). Ketinggian muka air sungai (aras rendah, aras menengah dan aras tinggi) dan ketersediaan bahan konservasinya (semak dan pohon).

Konservasi untuk bagian tebing sungai yang berada antara aras rendah dan aras menengah menggunakan semak. Jenis semak yang digunakan harus mampu bertahan hidup jika tergenang lama dan lentur sehingga tidak mudah patah jika terterjang arus kuat. Konservasi untuk bagian tebing sungai yang berada antara aras menengah dan aras tinggi menggunakan semak atau semak diselingi pohon. Kehadiran pohon-pohon di loka antara aras tinggi dan aras menengah suatu sungai berlantai sempit dapat memecah limpasan, meningkatkan kecepatan arus dan erosi, sehingga pencampuran semak dan pohon ini untuk sungai-sungai berlantai sempit dapat memecah limpasan, meningkatkan kecepatan arus dan erosi, sehingga pencampuran semak dan pohon ini untuk sungai-sungai berlantai sempit lebih tepat di atas aras tinggi.

Tebing danau dan sungai-sungai yang aliran airnya sangat lambat dapat dilindungi dengan bambu dan untuk loka di bawah aras air dapat ditanami jenis-jenis tanaman air atau diisi batu. Konservasi loka-loka tersebut juga dapat menggunakan massa rumput jika pasokannya tersedia.

4) Teknik Bangunan Padat

Bangunan padat permanen untuk perlindungan tebing sungai mencakup : a) *weir* (jendela arus), b) *groynes* (penahan arus) permanen, c) pemacu arus (*spur*) dan d) dinding penahan. Biaya pengadaan bangunan konversi ini tergolong tinggi, sehingga penghidrannya tidak intensif atau ditujukan pada loka-loka sangat khusus.

a) Teknik Jendela Arus

Kegunaan utama bangunan ini adalah mematahkan kecepatan aliran sungai dan menghancurkannya secara tidak erosif dari loka lebih tinggi menuju loka lebih rendah. Jendela arus ini dapat dibuat dari beton, *masonry* atau *gabion*. Pondasi bangunan ini didasar dan tebing sungai harus cukup dalam untuk mencegah penghayutan dan pengerusan. Matranya bergantung mutu limpasan, gelombang limpasan dan bentuk dasar sungai.

Kehadiran jendela arus ini menjadikan arus air sungai dapat dikendalikan dengan memusatkannya pada bagian tengah badan sungai. Jendela arus ditempatkan secara terpisah-pisah dengan mengupayakan arus muka air sungai pada jendela arus terbawah akan merupakan aras muka air terbawah jendela arus di atasnya.

b) Teknik Penahan Arus

Bangunan konservasi ini dapat dibuat dari beton, *masonry*, *gabion* atau riprap. Bangunan ini kadang disebut "*rock sansage*", yaitu bila menggunakan silinder anyaman kawat diisi batu dan ditancapkan ke bumi dengan pasok.

Bangunan ini ditempatkan di tebing sungai, ujung atas harus lebih tinggi daripada arus air medium. Pada aras air rendah hanya bagian atas bangunan yang berada di dalam air. Bagian bawah bangunan menghadap hilir perlu diberi *apron* untuk mencegah penghayutan di sisi bawah dan bagian depan bangunan ini perlu dilindungi.

c) Teknik Pemacu Arus

Bangunan pemacu arus ini mirip *groynes* tetapi lebih pendek dan umumnya bagian ujungnya mengarah ke hilir atau arah cacak terhadap arus. Bangunan ini dapat dibuat dari beton, *masonry* atau riprap yang diperkuat dengan kerangka kayu.

d) Teknik Dinding Penahan

Bangunan ini dapat dibuat dari *gabion*, anyaman kawat silindris berisi batu, beton atau *masonry*. Dinding penahan ini mempunyai tinggi yang mencapai muka air sungai aras tertinggi.

C. Konservasi Tanah di Lahan Hutan Tanaman

Pembangunan hutan tanaman melibatkan aneka bentuk kegiatan yang berkemampuan merusak sumberdaya tanahnya, antara lain adalah kegiatan-kegiatan pembukaan wilayah hutan (PWH) dan pengelolaan tanaman budidaya. Kerusakan awal yang ditimbulkan oleh adanya kegiatan PWH terutama berwujud perubahan penampilan permukaan tanah akibat terkupas, terpadatkan dan tertimbuni bahan urugan. Keadaan tanah yang terbuka dan terpadatkan itu sangat merangsang terbentuknya limpasan erosif yang dapat menghanyutkan massa tanah dalam takaran banyak, namun karena lahan yang diperuntukkan hutan tanaman ini berkemiringan 25%, maka intensitas kerusakan tanah oleh erosi ini tidak sebesar di loka PWH hutan produksi alam. Di loka PWH ini dapat berkembang aneka bentuk erosi tanah, antara lain : erosi alur dan erosi selokan. Loka-loka tebing sungai yang tidak mantap dapat mengalami erosi tebing dan tebing bukit yang curam dan kehilangan tumbuhan penutupnya dapat mengalami longsor.

Kerusakan lebih berat dialami oleh sumberdaya tanah yang diperuntukkan loka tanaman budidaya karena adanya kegiatan-kegiatan pembukaan lahan, pengelolaan tanaman budidaya dan pemanenan yang tidak/kurang ramah lingkungan. Kegiatan pembukaan atau penyiapan lahan dengan teknik gusur bersih dan bakar serta melibatkan penggunaan alat-alat berat telah menyebabkan keterbukaan dan pemadatan yang intensif dapat merangsang terjadinya limpasan erosif dan erosi tanah lebih tinggi.

Pembukaan lahan dengan teknik tersebut juga menyebabkan lapisan atas teraduk-aduk dan terkupas serta akan menghancurkan lapisan tanah yang paling banyak menyerap atau menyimpan hara. Pengelolaan pertanaman yang menerapkan sistem pertanaman jenis tunggal, jenis tumbuh cepat, tidak ada pergiliran tanaman, masukan pupuk yang sedikit dan pengaturan pertanaman kurang/tidak memperhatikan gatra topografis lahan akan semakin merusak daya dukung tanahnya melalui fenomena erosi dan pengurasan hara. Permanenan katu yang dilakukan dengan sistem tebang habis dan penyaradan yang menggunakan alat-alat berat dapat menghantarkan lahan pada keadaan serupa awal kegiatan pembangunan hutan tanaman. Keadaan permukaan tanah yang terbuka selama beberapa tahun menjadi sasaran bekerjanya biang-biang erosi tanah yang menyebabkan daya dukung tanahnya semakin merosot.

Berdasarkan penggambaran di atas, maka teknik-teknik konservasi tanah yang dapat diterapkan di lahan hutan tanaman meliputi : 1) Lokasi PWH antara lain saluran pengatusan, penanaman, teras, mulsa

sintesis, biometrik dan pengerasan jalan, 2) Lokasi tanaman budidaya antara lain tebas mulsa, pengolahan tanah minimum, pertanaman campuran, pertanaman kerapatan tinggi, pemupukan, pemulsaan dan pemanenan, 3) Lokasi pemanenan yaitu sistem pemanenan ramah lingkungan dan lain lain misalnya penanaman dan biomekanik.

D. Konservasi Tanah di Lokasi PWH

Topografi lahan yang tidak secerum lahan hutan produksi alam memungkinkan banyak ruas jalan hutan di lahan hutan tanaman akan terbangun pada loka-loka datar sampai landai. Keberadaan jalan-jalan semacam itu di loka bercurah hujan tinggi menjadikannya kerawanan rusak jika terbiarkan dalam keadaan basah untuk waktu lama. Jalan-jalan hutan itu perlu dilengkapi saluran pengatusan yang berfungsi membantu mengeringkan air berlebih pada badan jalan. Pada ruas jalan yang panjang perlu dibuat saluran pembuang untuk mengendalikan longgokan massa air yang terlalu besar, sehingga dapat bergerak dengan laju tidak erosif. Saluran pembuang itu dibuat melintang jalan dan dapat dibuat dari log yang berlubang bagian tengahnya.

Teknik-teknik konservasi tanah yang dapat diterapkan di loka-loka PWH tanaman hampir sama dengan hutan produksi alam ini antara lain : pembuatan saluran pengatusan, pengerasan badan jalan, penanaman ruang-ruang terbuka yang tidak digunakan secara rutin (termasuk halaman rumah/pekarangan), penggunaan mulsa sintesis dan biomekanik untuk tebing-tebing di sekitar *base camp*, jalan dan sungai, serta teknik-teknik konservasi erosi selokan.

Pengolahan tanah konvensional memiliki peran kecil dalam konservasi tanah dan jika tidak dilakukan dengan cermat justru memberikan pengaruh buruk yaitu memicu terciptanya keadaan tanah yang rawan erosi. Upaya untuk memberdayakan pengolahan tanah dalam konservasi tanah dengan tetap dapat mencapai tujuan-tujuan pokok kegiatan tersebut secara serempak dapat dilakukan sebagai berikut: a) melakukan pengolahan tanah seperlunya, b) pengolahan tanah dilakukan pada kelengasan tanah yang tepat ($pF_{4/2}$), c) memberantas gulma dengan bahan-bahan kimia, d) menerapkan teknik pengolahan tanah berganti-ganti dan, e) mengolah tanah menurut garis tinggi.

Adanya tekanan untuk lebih memperhatikan masalah lingkungan dan penghematan energi merupakan gatra yang turut mendorong dikembangkan teknik-teknik pengolahan tanah lebih ramah lingkungan yaitu pengolahan tanah konservasi (*conservation tillage*). Pengolahan tanah konservasi ini terdiri dari : a) pengolahan tanah

hemat (*reduced tillage*) yang mencakup pengolahan tanah minimum (*minimum tillage*) atau hemat pengolahan tanah dan tanpa pengolahan tanah (*no tillage/zero tillage*) dan b) pengolahan menurut garis tinggi.

Pengolahan tanah minimum bertujuan mengurangi intensitas setiap tahap pengolahan tanah dan teknik tanpa pengolahan tanah bertujuan mengurangi sampai titik terendah kegiatan yang mengganggu tanah dengan hanya menempatkan biji-biji tanaman budidaya di celah-celah tanah yang ada atau dibuat secara khusus misalnya dengan ditugal. Peranan teknik pengolahan tanah hemat ini dalam konservasi tanah adalah menciptakan kemungkinan meninggalkan serasah atau sisa-sisa tanaman lebih banyak di permukaan tanah, kemantapan agregat dan kesarangan tanah kurang terusik, sehingga kapasitas infiltrasi tanah apat dipertahankan dan daya angkut limpasan diperlemah.

E. Konservasi Tanah di Loka Tanaman Budidaya

Selain penebangan, pengubahan hutan untuk pertanian ukuran besar, terutama budidaya perkebunan kelapa sawit, telah menjadi kontributor yang besar penting bagi berkurangnya hutan di Indonesia. Kawasan budidaya kelapa sawit meluas dari 600.000 hektar di tahun 1985 menjadi lebih dari 5,3 juta hektar di tahun 2004. Pemerintah berharap kondisi ini akan berlipat ganda dalam waktu satu dekade dan, melalui program transmigrasi, telah mendorong para petani untuk mengubah lahan hutan liar menjadi perkebunan. Karena cara termurah dan tercepat untuk membuka lahan perkebunan adalah dengan membakar, upaya ini justru memperburuk kondisi: setiap tahun ratusan dari ribuan hektar are berubah menjadi asap saat pengembang dan agrikulturalis membakar kawasan pedalaman sebelum musim hujan datang.

Terjadinya lahan rusak karena penebangan hutan dipercepat dengan pengurusan hasil hutan secara besar-besaran yang banyak terjadi akhir-akhir ini. Sudah bukan merupakan rahasia lagi bahwa sebagian besar pemegang HPH tidak melaksanakan usahanya dengan pertimbangan terhadap masa depan. Antara lain dengan melaksanakan penebangan secara tebang habis, tidak bertanggung jawab, dan tidak melakukan rehabilitasi. Banjir yang sebelumnya tidak pernah terjadi di Sumatera dan Kalimantan, pada tahun tujuh dan delapan puluhan sudah merupakan kejadian rutin.

Sejalan dengan peningkatan kebutuhan manusia, sebagai akibat pertambahan penduduk, kebutuhan lahan untuk pertanian bertambah. Pada pihak lain lahan yang cocok untuk pertanian dapat dikatakan sudah semuanya digunakan. Sebagai akibatnya petani membuka/

menggunakan lahan yang kurang sesuai untuk pertanian, misalnya karena mempunyai lereng curam. Dengan terbukanya lahan curam ini, tanahnya dengan mudah terkikis dan terangkut oleh air hujan. Kerusakan tanah dipercepat dengan adanya pengelolaan tanah yang tidak benar, misalnya petani di daerah Jawa Timur (Batu, Nongkojajar, Wonokitri) Jawa Tengah (Tawangmangu, Wonosobo, Temanggung, Solotiga) Jawa Barat (Lembang, Bogor) yang menanam kentang pada guludan-guludan yang dibuat searah dengan kemiringan lereng.

Dalam usaha peningkatan produksi biasanya manusia hanya terpaku pada tingkat produksi yang mau dicapai, jarang sekali ada pihak yang memperhatikan tanah sebagai sumber daya alam, yang mempunyai sifat tidak dapat diperbaharui (*non renewable*). Tindakan mengabaikan tanah dijumpai pada usaha peningkatan produksi per satuan luas, juga pada per luasan lahan. Peningkatan produksi berarti meningkatkan pengangkutan unsur hara, termasuk unsur-unsur yang tidak pernah ditambahkan ke dalam tanah. Padahal beberapa unsur hara yang diangkut tanaman tidak hanya merupakan hara esensial tanaman, tetapi juga berfungsi sebagai pengatur sifat fisik tanah, misalnya Ca dan Fe yang sangat penting dalam pembentukan dan pematangan agregat tanah.

Konservasi Daerah Aliran Sungai

A. Pengertian Suatu Daerah Aliran Sungai

Daerah aliran sungai yang sering disingkat dengan DAS adalah suatu daerah atau wilayah dengan kemiringan lereng bervariasi yang dibatasi oleh punggung bukit-bukit atau gunung, yang dapat menampung sehingga curah hujan sepanjang tahun dimana air terkumpul di sungai utama yang dialirkan terus sampai ke laut, sehingga merupakan suatu ekosistem kesatuan wilayah tata air (Sarief, 1985).

Menurut kamus Webster dalam Hewlett (1982), daerah aliran sungai (DAS) adalah suatu daerah yang dibatasi oleh pemisah topografi, yang menerima hujan, menampung, menyimpan dan mengalirkannya ke sungai dan seterusnya ke danau atau ke laut. Dalam sistem suatu DAS tersebut terjadi suatu proses interaksi antara faktor-faktor biotik, non biotik dan manusia sehingga merupakan satu kesatuan.

B. Fungsi Suatu Daerah Aliran Sungai

Fungsi suatu daerah aliran sungai (DAS) merupakan fungsi gabungan yang dilakukan oleh seluruh faktor yang pada DAS tersebut, yaitu vegetasi, bentuk wilayah topografi, tanah dan pemukiman. Apabila salah satu dari faktor tersebut di atas mengalami perubahan, maka hal tersebut akan mempengaruhi pula ekosistem DAS. Sedangkan perubahan ekosistem, juga akan menyebabkan gangguan terhadap bekerjanya fungsi DAS, sehingga tidak sebagai mestinya.

Apabila fungsi dari suatu DAS terganggu, maka sistem penangkapan curah hujan akan menjadi tidak sempurna, sistem penyempurnaan airnya menjadi sangat longgar atau sistem penyaluran

ke sungai menjadi sangat boros. Kejadian tersebut akan menyebabkan melimpahnya air pada musim hujan (banjir), dan sebaliknya sangat minimumnya air pada musim kemarau (kekeringan). Hal ini membuat fluktuasi debit sungai antara musim kemarau dan hujan berbeda tajam. Jadi fluktuasi debit sungai sangat tajam, berarti bahwa kualitas DAS tersebut adalah rendah.

Salah satu penciri kualitas air tidak tercatat langsung oleh alat fluktuasi debit sungai, ialah kandungan lumpur yang terbawa oleh aliran sungai. Sedimen tersebut berasal dari daerah aliran sungai yang mengalami proses erosi.

Proses pengendapan (sedimentasi) demikian dapat menyebabkan terjadinya pendangkalan pinggir laut atau pantai sehingga lama kelamaan daratan seolah-olah bertambah lebar.

Dengan demikian semakin tinggi kandungan lumpur pada pinggir sungai, semakin banyak erosi yang terjadi pada DAS, dan apabila erosi semakin besar, berarti keadaan DAS tersebut semakin rusak. Apabila suatu DAS semakin mengalami kerusakan, berarti kualitas DAS tersebut tentunya semakin menurun pula.

Menurut Soemarwoto (1978), menurun dan merosot keadaan suatu DAS pada umumnya disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain : adalah tekanan penduduk, tekanan pembangunan dan tekanan sosial ekonomi masyarakat di dalam kawasan daerah aliran sungai (DAS).

Besarnya erosi dan fluktuasi debit sungai suatu DAS sangat relevan dengan *run = off Run = off (overlandflow)*, dipengaruhi pula oleh infiltrasi. Hal tersebut dapat dijelaskan, karena infiltrasi yang baik, akan mengurangi aksi *run-off* (aliran permukaan) baik sebagai pengikis tanah, maupun sebagai sumber debit yang berlebihan.

C. Penentuan Kualitas DAS

Untuk menentukan kualitas suatu DAS atau sub - DAS, diukur dari dua parameter yang secara teoritis dan praktis dapat dianalisis untuk digunakan, parameter tersebut adalah tingkat erosi yang alami, dalam hal ini sedimen dan fluktuasi debit sungai yang mengalir pada sungainya pada beberapa kondisi curah hujan yang berbeda.

Untuk membedakan tingkat kerusakan yang diderita oleh suatu DAS atau sub - DAS dengan lainnya, maka perlu diberi nilai masing masing menurut kualitasnya, nilai itu nantinya akan merupakan derajat kualitas DAS atau sub - DAS.

Di Indonesia belum terdapat suatu metode penelitian DAS yang baku. Tingkat kerusakan DAS atau sub-DAS selama ini, hanya dinilai dengan menyatakan erosi yang diderita oleh DAS atau sub-DAS tersebut, dalam satuan ton/ha/tahun, yang diketahui dapat melalui metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE) atau dengan pengamatan plot-plot kecil di lapangan.

Menurut Sarief (1985), karena dalam suatu DAS, terdapat banyak sekali macam dan jenis tanah yang berbeda-beda (faktor erodibilitas) demikian pula faktor erosivitas hujan dan faktor lainnya yang memiliki nilai-nilai yang berbeda pula, maka untuk menilai kualitas suatu DAS haruslah berhati-hati dan secermat mungkin. Hal ini merupakan suatu pekerjaan yang tidak mudah memerlukan waktu yang lama, tenaga dan keahlian.

Adapun karakteristik suatu DAS atau sub - DAS, dapat digambarkan oleh fluktuasi debit dan sedimentasinya. Hal ini, dapat dijelaskan dengan proses siklus hidrologi pada DAS.

Hujan yang jatuh di atas daerah penangkapan (*catchment area*) sebuah daerah aliran sungai, mula-mula diterima oleh vegetasi, kemudian sebagian dilepaskan melalui proses intersepsi tajuk ada yang tertahan dan ada yang diuapkan (transpirasi) dan ada sebagian lagi yang jatuh langsung ke bawah pohon (*troughfall*), dan sebagian lainnya dialirkan melalui proses aliran batang (*stemflow*). Aliran batang diteruskan ke dalam tanah melalui akar, yaitu yang kemudian dilepaskan ke pori-pori tanah melalui proses infiltrasi. Aliran dalam tanah selanjutnya dengan daya gravitasi bergerak menuju tempat yang lebih rendah dengan proses perkolasi, menuju "*ground water storage*" penampungan air di bawah tanah dan dari tempat ini air akan keluar mengalir ke sungai secara teratur sebagai mata air/ sumber air.

Transpirasi adalah penguapan dari permukaan tanaman (vegetasi) sedang evaporasi adalah penguapan pada permukaan air terbuka dan permukaan tanah. Jadi evaporasi transpirasi adalah kombinasi dari kedua penguapan tersebut.

Untuk pengukuran evapora permukaan air bebas dan permukaan tanah serta memperkirakan transpirasi dari tanaman adalah penting dalam studi hidrologi. Alat pengukuran evaporasi adalah Pan evaporasi Atmometer, Lysimeter, sedang untuk mengukur transpirasi adalah Phytometer.

1. Alat Pengukur Hujan

Tujuan dari pengukur hujan adalah untuk mengukur banyaknya curah hujan dan intensitas (kederasan) hujan yang turun pada

permukaan atas dengan satuan yang diukur volume air atau tinggi dalam milimeter, alat ini terbagi dua yaitu alat sederhana (*non-recording*) dan otomatis (*recording*):

a. Alat pengukur hujan biasa (*non recording*)

Pada dasarnya alat ini merupakan suatu corong dengan diameter tertentu (umumnya 8) dan sebuah gelas ukur, untuk mengukur jumlah hujan (curah hujan) dalam 1 hari (hujan komulatif untuk periode 24 jam). Untuk menentukan besarnya intensitas hujan agak sulit dengan alat ini.

b. Alat penakar hujan otomatis (*automatic rain gauge / recorder*)

Berbagai merk alat penakar hujan otomatis telah dikeluarkan pabrik, namun mekanisme kerjanya kurang lebih sama. Alat perekam hujan ini, dapat dipakai untuk mencatat jumlah curah hujan, kecepatan, kederasan (intensitas hujan) dan lamanya hujan. Untuk lamanya pencatatan data dapat disesuaikan dengan tujuan pengamatan yaitu harian, mingguan dan bulanan.

2. Perhitungan Curah Hujan DAS

Guna menghitung curah hujan DAS yang cukup luas, dimana kemungkinan ada beberapa stasiun pengamatan yang harus dibuat mengingat curah hujan di suatu tempat akan berbeda dengan tempat lain. Di bawah ini diuraikan dua cara yang cukup memadai untuk kondisi di Indonesia.

a. Cara Perhitungan Rata-rata (*Arithmaric Mean*)

Perbitungan cara ini paling sederhana, biasanya dipergunakan untuk daerah datar, dengan jumlah pos curah hujan yang banyak dan dengan anggapan bahwa curah hujan di daerah tersebut bersifat *uniform*, dengan rumus sebagai berikut ;

$$\text{Rave} = \frac{R1 + R2 + R3.....Rn}{n}$$

dimana Rave = Curah hujan rata - rata

Rt.....n n = Besar curah hujan setiap pos

N = Banyak pos hujan

b. Cara Poligon Thiesen

Cara ini diperoleh dengan membuat poligon yang menotong tegak lurus pada tengah-tengah garis hubung dua pos pemakai hujan. Dengan setiap pos Rn akan terletak pada suatu wilayah poligon tertutup dengan luas An, dengan rumus sebagai berikut :

$$R_{ave} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A}$$

$$R_{ave} = \frac{(65)(46) + (150)(55) + \dots + (136)}{892}$$

3. Perhitungan Intersepsi

Hujan yang sampai di permukaan tajuk akan diintersepsi dengan kata lain :

$$Interception = \text{Gross Precipitation (rainfall)} - (\text{Through fall}) + (\text{Stem flow})$$

dimana :

$$\text{Throughfall (mm)} = \frac{\text{Vol. Measured throughfall}}{\text{Receiving area of the gutter}}$$

$$\text{dan Stemflow (mm)} = \frac{V}{X} \times \frac{V}{X} \text{ Measured steamflow (dm}^3\text{)}$$

Receiving area pengukuran *throughfall* yang diletakkan di bawah pohon dapat berbentuk bundar atau segi empat yang diletakkan ± 120 cm di atas tanah. Sedang alat pengukur *stemflow* dengan melingkarkan pipa plastik yang dibelah dua, kemudian dipaku atau dilem pada batang pohon. Sedang alat penampung air diletakkan di ujung bagian bawah dari pipa penadah.

4. Perhitungan Debit Sungai

Debit adalah volume air mengalir per satuan waktu melewati suatu penampung melintang aliran.

Pada umumnya pengukuran debit dilakukan pada waktu-waktu tertentu, makin banyak pengukuran, makin teliti analisa datanya, rumus yang digunakan sebagai berikut :

$$Q = V \times A$$

dimana Q = debit sungai, V = kecepatan aliran dan A = luas basah saluran

Untuk menghitung kecepatan aliran dapat digunakan beberapa alat meliputi *Velocity Head Rod*, *Trupp's Ripple Meter*, *Pitot Meter*, pengapung (*float*) dan *Current Meter*. Untuk mengukur kecepatan aliran permukaan secara kasar dapat digunakan pengapung (bola pingpong atau yang lebih besar dan diberi pemberat). Untuk itu dibutuhkan alat pencatat waktu (*stop watch*) untuk jarak aliran tertentu dan buah titik, sehingga:

$$V = \frac{D}{T} = \frac{\text{Jarak 2 titik yang dilalui (m)}}{\text{Waktu yang dibutuhkan untuk melalui D}}$$

Sedang *Current Meter* adalah alat ukur kecepatan aliran dimana pemberat dan baling-baling dibenamkan ke dalam air, sehingga perputaran baling - baling tersebut dapat tercatat secara otomatis pada alat perekam (jarak/ waktu).

D. Peranan Hutan dalam Usaha Konservasi DAS

Sumber air sungai umumnya berasal dari empat komponen, yaitu air hujan langsung, aliran permukaan, aliran di bawah permukaan dan aliran air bumi. Dan keempat komponen tersebut yang tidak dikehendaki aliran permukaan, karena dipandang dari segi hidrologi merupakan karakteristik penyebab erosi dan banjir. Untuk mengatur agar aliran permukaan ini tidak berlebihan diperlukan pengelolaan hutan yang intensif, karena hutan berpengaruh besar terhadap curah hujan yang jatuh ke permukaan tanah, di samping itu hujan berpengaruh terhadap keseimbangan pengaliran air dari daerah yang lebih tinggi ke daerah yang lebih rendah. Jumlah pengaliran dan suatu sungai dapat dianggap sebagai perkiraan tingkat aliran permukaan di samping lumpur yang di hanyutkannya. Dalam Hal ini luas hutan turut menentukan jumlah pengaliran dari sungai tersebut. Selain luas hutan, macam tanaman yang diusahakan di hutan juga berpengaruh terhadap aliran permukaan dan besarnya erosi.

Peranan yang penting dari tanaman adalah melindungi tanah dari pukulan hujan secara langsung dengan jalan mematahkan energi-energi kinetiknya melalui tajuk, ranting dan batangnya. Dengan serasah yang dijatuhkannya akan terbentuk humus yang berguna untuk menaikkan kapasitas infiltrasi tanah, dengan demikian erosi akan dikurangi. Habitat tanaman terutama bentuk pohon, kerapatan tajuk dan ranting serta luas daun dalam tajuk turut menentukan besar kecilnya daya pukul air hujan.

Kerapatan pohon akan mempengaruhi hambatan terhadap air hujan dalam luas yang lebih besar, sehingga populasi tanaman yang jarang akan menimbulkan erosi yang lebih besar. Populasi yang jarang ini terutama disebabkan oleh penebang berpindah, pembakaran dan pengusahaan tanah garapan lainnya. Pengaruh hutan dan vegetasi lainnya dalam hubungannya dengan timbulnya erosi dapat dikemukakan pada tabel di bawah ini :

Tabel 1. Jenis Penutup Tanah dan Besarnya Erosi

Jenis Penutup Tanah	% Air Hujan di Atas Tanah	Erosi ton/ha/thn
Hutan lebat	0	0,020
Hutan terbakar	2,6	0,470
Hutan berumput	1,5	0,540
Hutan jagung	17,6	41,500
Hutan kapas	19,9	46,900
Tanah gundul	49,0	514,000

Sumber : Morgan, 1979

Sebidang tanah dapat dikatakan hutan bila di atasnya terkandung tumbuh-tumbuhan dari berbagai jenis, dan pohon dari berbagai ukuran dan jenis tanaman merupakan bagian ukuran dan jenis tanamannya merupakan bagian yang utama dan mempunyai daya untuk menghasilkan kayu dan hasil hutan lainnya, atau mempunyai daya untuk mengatasi dan mempengaruhi iklim dan tata air setempat, hutan merupakan tempat hidup alam hayati dan nabati.

Ciri lain yang lebih jelas bagi batasan hutan adalah adanya pohon-pohon yang mempunyai akar, batang dan tajuk dan tinggi tertentu, bersama-sama sebagai suatu persekutuan hidup menempati suatu ruang hidup yang satu sama lain mengambil bagian dalam usahanya untuk menutupi ruang hidup tersebut. Selanjutnya ditegaskan lagi bahwa dalam persekutuan itu tidak saja tergolong pohon-pohon tetapi juga meliputi tumbuh-tumbuhan lain seperti semak, rumput-rumputan, tumbuh-tumbuhan basah, lumut dan jenis tanaman lainnya. Begitu pula tercangkup di dalamnya binatang-binatang seperti burung, tikus, babi hutan, cacing, semut dan lain-lainnya yang bisa hidup di hutan di samping mikro-organisme, ganggang, jamur dan lainnya.

Yang penting dalam persekutuan hidup itu adalah aktivitas mikro-organisme yang distimulasikan dengan adanya suasana yang senantiasa lembab, sinar matahari, yang dengan melalui proses waktu yang cukup lama akan menimbulkan humifikasi- humifikasi antara lain adalah proses penghancuran guguran-guguran daun, ranting cabang pohon dan pohonnya sendiri yang tumbang serta lain-lainnya lagi menjadi bungan tanah atau humus yang bersifat porous.

Selanjutnya Depari (1962) menerangkan tentang peranan hutan pada saat-saat terjadinya hujan sebagai berikut :

Air hujan jatuh, kekuatan dan kecepatan jatuhnya akan ditahan dan dipatahkan oleh daun-daunan sehingga akibatnya sebagian besar air hujan tadi akan turun secara perlahan-lahan melalui ranting, cabang dan pohon, baru kemudian sampai ke permukaan tanah.

Dengan adanya humus yang bersifat porous, maka air hujan tadi akan diserap dan ditahan alirannya, sehingga bahaya timbulnya erosi dan banjir akan diredusir. Karena kelebihan air yang tidak dapat diserap oleh humus tadi seandainya tidak jenuh daya hisap humus telah dilampaui, hanyalah akan merupakan aliran air yang relatif lambat saja. Aliran air tersebut secara perlahan-lahan akan menuju ke daerah aliran anak- sungai, sampai akhirnya masuk- ke sungai secara normal untuk dialirkan kemudian ke laut lepas.

Sebagai kelanjutan proses air yang dapat diabsorpsi oleh humus seperti dikatakan tadi, dengan kecepatan relatif lambat akan meresap terus ke bawah lapisan kulit bumi dan akan mengalir pula secara lambat di bawah permukaan tanah menuju ke kaki gunung atau tempat yang lebih rendah dari dataran hutan yang bersangkutan, dan akhirnya, setelah melampaui masa waktu tertentu, akan muncul kembali di permukaan bumi dalam bentuk mata air. Air ini dalam keadaan normal akan sangat dibutuhkan manusia untuk berbagai penggunaan dan pemanfaatannya, menjamin kontinuitasnya, hingga bahaya kekurangan air akan menjadi kecil, terutama di musim kemarau.

Demikian gambaran secara singkat dari peranan hutan sebagai penutup tanah dan pengawet tata air tanah, sehingga air hujan yang banyak turun pada musim penghujan akan tertampung dan tersimpan dalam tanah dan bahaya erosi atau banjir menjadi berkurang. Sebaliknya apabila musim kemarau tiba dapat merupakan cadangan, sehingga risiko akan kekurangan air menjadi kecil, bahkan mungkin tidak ada.

Pendapat tersebut di atas ditujukan oleh apa yang dikemukakan para ahli, yang antara lain mengemukakan bahwa peranan vegetasi terhadap erosi dibagi menjadi lima tingkatan :

- 1) Daya tahan tajuk vegetasi terhadap hujan menghasilkan dua peranan. Peranan *pertama*, menahan dan kalau keadaan memungkinkan kemudian menguapkan kembali air hujan yang jatuh itu, sehingga kemudian terjadinya pengikisan oleh air hujan yang jatuh itu akan menjadi kecil. Sedangkan peranan *kedua* yaitu setelah pukulan tetes hujan dipatahkan oleh tajuk, maka pukulan butir-butir hujan terhadap tanah menjadi berkurang. Dengan demikian, walaupun terjadi adanya pelarutan tanah oleh air hujan

yang jatuh itu, tidak akan berpindah jauh karena diserap oleh humus.

- 2) Dengan telah dipatahkan tetes hujan tadi oleh adanya tajuk-tajuk daun, maka pukulannya terhadap tanah menjadi berkurang, dan dengan adanya humus, kecepatan aliran permukaan akan diperkecil lagi.
- 3) Pengaruh akar terhadap butir-butir tanah dan porositas tanah, secara singkat dapat diterangkan, akar-akar tanaman tadi dengan selaput koloidahnya akan mengikat butir-butir tanah sehingga sukar untuk dihancurkan dengan segera. Selanjutnya porositas tanah akan lebih besar bila celah-celah tanah akibat penembusan akan lebih banyak. Porositas ini akan mereduksi erosi.
- 4) Aktivitas mikro-organisme berperan dalam proses humifikasi dan berpengaruh baik terhadap porositas tanah. Dengan humifikasi akan terbentuk tanah yang subur (gembur), yang bersifat sangat porous, sehingga mempunyai kemampuan untuk meresapkan air lebih banyak lagi sehingga bahaya erosi dapat dihindari.
- 5) Dengan terjadinya transpirasi maka tanah akan menjadi lebih porous sehingga kemampuan menyerap air akan lebih besar. Bila proses penguapan persediaan air di satu pihak dihubungkan dengan proses terhalangnya tetes hujan, berkurangnya kecepatan aliran permukaan dan bertambah porousnya tanah yang disebabkan oleh pengaruh vegetasi di lain pihak, maka akan nampaklah peranan penguapan air tanah tadi, sehingga kemungkinan terjadinya erosi menjadi lebih kurang lagi.

E. Peranan Hutan terhadap Kualitas Lingkungan

Dengan aliran sungai adalah suatu wilayah penerimaan air hujan yang dibatasi oleh punggung bukit atau gunung. Semata curah hujan yang jatuh di atasnya akan mengalir ke sungai utama dan akhirnya bermuara ke laut (Manan, 1977). Menurut Suranggadijiwa (1978), Selain merupakan kesatuan wilayah tata air, daerah aliran sungai juga merupakan suatu ekosistem dengan keadaan, tindakan atau pengaruh yang berlaku pada salah satu unsur atau bagian di dalamnya akan mempengaruhi kumpulan unsur atau wilayah secara keseluruhan, Menurut Sumarwoto (1978), ekosistem daerah aliran sungai umumnya terdiri atas hutan, sawah, desa dan sungai.

Hutan merupakan salah satu dari komponen ekosistem daerah aliran sungai yang berperan dalam mendukung kehidupan di wilayah tersebut. Batas suatu ekosistem dalam mendukung kehidupan

di wilayah tersebut dimana daya dukung kehidupan di wilayah tersebut dinamakan daya dukung lingkungan yang dinyatakan dengan jumlah penduduk yang dapat didukung kehidupannya persatuan luas.

Kerusakan hutan erat kaitannya dengan peningkatan daya dukung lingkungan yang disebabkan oleh meningkatnya jumlah penduduk dalam daerah aliran sungai. Keadaan ini dapat digambarkan dengan rumus ALLAN seperti yang tertera di bawah ini :

$$K = \frac{C_p}{100 \times C_a \times L}$$

dimana :

K = daya dukung lingkungan (orang per km)

C_p = persentase hm, tanah yang dapat digarap untuk usaha pertanian/kehutanan

C_a = luas tanah yang diperlukan untuk hidup (ha per orang)

$$L = \frac{R}{U} \text{ , R adalah jumlah tahun}$$

Berturut-turut pengistirahatan tanah dan U adalah jumlah tahun berturut-turut penanaman terhadap tanah.

Dan rumus tersebut dapat diketahui makin besar C_p dan makin kecil C_a dan L akan menyebabkan nilai K bertambah besar, artinya, semakin besar persentase luas tanah yang dapat dikerjakan serta makin tinggi hasil dan lamanya tanah dapat dikerjakan, makin besar jumlah penduduk yang dapat didukung kehidupannya di daerah tersebut. Di daerah dengan pertanian menetap dan teknologi yang tidak berkembang maka C_a dan L dapat dianggap konstan, sehingga dengan peningkatan jumlah penduduk timbul reaksi untuk menaikkan K hingga daya dukung maksimum. Pada tingkat daya dukung maksimum ini, penduduk akan mengalami kekurangan makan dan kebutuhan hidup lainnya sehingga untuk memenuhi kebutuhan hidupnya, penduduk mengeksploitir sumber daya secara berlebihan, misalnya dengan penebangan hutan. Dengan penebangan hutan ini, diharapkan nilai K menjadi naik akibat kenaikan C_p, artinya penduduk membuka tanah baru untuk pertanian. Dari peningkatan C_p tadi timbul masalah baru, yaitu tanah menjadi terbuka dan cenderung untuk menimbulkan erosi. Usaha-usaha untuk mengurangi kerusakan hutan ini antara lain dengan penyuluhan tentang arti pengawetan tanah dan air, sistem tebang pilih, tebang habis, reboisasi dan penghijauan.

F. Peranan Reboisasi dan Penghijauan dalam DAS

Sekarang kita sudah mempunyai gambaran bahwa betapa pentingnya hutan dengan keutuhannya sebagai penahan erosi. terganggunya keutuhan hutan akan dapat menimbulkan bahaya erosi. Untuk menjamin supaya keutuhan tetap dipertahankan, maka reboisasi dan penghijauan adalah merupakan pengamanan.

Di Indonesia sejak dari Pemerintahan Hindia Belanda telah diadakan reboisasi yaitu dengan dibentuknya "*Reboisching Camiissie*" pada tahun 1931, yang bertugas memberikan pandangan, keterangan-keterangan serta laporan tentang aturan-aturan untuk memperbaiki dan memelihara hutan di Jawa. Adapun maksud selanjutnya dengan tindakan itu adalah untuk mempertahankan hutan yang ada, memperluas atau menambah hutan cadangan serta menyelidiki keadaan dari sudut klimatologi dan hidrologi setelah pelaksanaan perluasan hutan itu. Dengan adanya salah satu tujuan untuk memperluas dan menambah areal hutan cadangan, maka tercakuplah tindakan reboisasi di dalamnya.

Pada umumnya para ahli di seluruh dunia beranggapan bahwa hutan dan perhutanan dipandang sebagai salah satu Remedy yang masalah erosi dan banjir. Dengan yang tandus dengan vegetasi hutan dapat diperbanyak, sehingga akan air tanah dan mengurangi aliran terpenting dalam menghadapi menutupi kembali tanah-tanah maka rongga-rongga tanah memperbesar daya menahan permukaan.

Para ahli, mengemukakan bahwa maksud dari penghijauan, reboisasi dan peremajaan, adalah untuk menanam kembali tanah-tanah kosong atau gundul yang kritis, baik hidrologis, fisis, teknis maupun sosial ekonomisnya, yang disebabkan oleh antara lain:

1. Cara bercocok tanam pada tegalan-tegalan milik rakyat yang kurang memenuhi syarat pengawetan tanah.
2. Beberapa macam bencana alam seperti erosi dan banjir.

Untuk reboisasi umumnya digunakan tanaman yang dapat mencegah erosi, baik dari segi habitat ataupun umur, juga keras yang bernilai ekonomis, baik kayunya, lainnya, misal getah, akar dan minyak.

Dalam hubungannya dengan pencegahan erosi, pemilihan tanaman hendaknya didasarkan kepada sifat-sifat khusus misalnya perakaran luas, kuat dan dalam, kemampuan menutup tanah dengan cepat, berumur panjang, daunnya lebat dan berkembang cepat secara horizontal.

Dengan demikian jelaslah bagaimana peranan terhadap pengawetan tata air tanah termasuk pengawetan tanah menanggulangi bencana dan nilai ekonomis hutan sekaligus dapat diperoleh termasuk keuntungan komplementernya berupa bangunan-bangunan teknis seperti waduk air, tempat rekreasi dan sebagainya.

Proses Erosi

A. Proses Terjadinya Erosi

Erosi adalah proses hilangnya atau terkikisnya tanah atau bagian tanah dan satu tempat ke tempat lain. Tanah merupakan suatu sistem dinamis yang selalu mengalami perubahan-perubahan, yaitu perubahan fisik, kimia, atau pun biologi tanah (Steila, dkk 1976). Perubahan-perubahan ini terutama karena pengaruh berbagai unsur iklim, tetapi tidak sedikit pula yang dipercepat oleh tindakan perlakuan manusia. Kerusakan tubuh tanah yang diakibatkan berlangsung perubahan-perubahan yang berlebihan misalnya kerusakan dengan lenyapnya lapisan olah tanah, peristiwa ini dikenal dengan erosi (penggundulan atau pelenyapan). Di dalam proses terjadinya erosi akan melalui beberapa pase yaitu pase pelepasan, pengangkutan dan pengendapan. Pada pase pelepasan partikel dari *aggregate*/ massa tanah adalah akibat dari pukulan jatuhnya atau tetesan butir hujan baik langsung dari udara maupun dari tajuk pohon tinggi yang menghancurkan struktur tanah dan melepaskan partikelnya dan kadang-kadang terpercik ke udara sampai beberapa cm.

Pelepasan partikel ini dapat pula diakibatkan oleh proses lain misalnya oleh menghancurkan iklim (perbedaan temperatur yang tinggi, hujan, angin/ badai, salju), proses biokimia, penggunaan alat mekanis, peternakan dan aliran air.

Pase selanjutnya adalah pase pengangkutan partikel dimana kemampuan pengangkutan dari suatu aliran sangat dipengaruhi besar kecilnya bahan/ partikel yang dilepaskan oleh pukulan butir hujan atau

proses lainnya. Bila telah tiba pada tempat dimana kemampuan angkut sudah tidak ada lagi, biasanya pada bagian tempat yang rendah maka energi aliran sudah tidak mampu lagi untuk mengangkut partikel-partikel tanah tersebut maka terjadilah endapan.

Di permukaan bumi ini erosi selalu dan akan tetap terjadi, peristiwa ini terjadi secara alami dan berlangsung sangat lambat, bila tanpa ada campur tangan manusia proses pengikisan ini disebut Erosi Geological (erosi alamiah atau normal). Bila adanya aktifitas manusia di atasnya disebut Erosi Dipercepat (*accelerate erosion*).

Pada erosi alamiah tidak menimbulkan malapateka bagi kehidupan manusia atau keseimbangan lingkungan, karena dalam peristiwa ini banyaknya tanah yang terangkat seimbang dengan pembentukan tanah. Lain halnya dengan erosi yang dipercepat dimana volume penghanyutan tanah lebih besar dibandingkan dengan pembentukan tanah. Oleh karena itu, penggunaan tanah harus hati-hati karena topsoil yang tererosi memerlukan waktu ± 30 tahun untuk membentuk ketebalan tanah sekitar 25 mm atau 12,5 ton/ hektar per tahun (Sutedjo, 1991)

Jadi pada dasarnya manusia hanya berupaya untuk memperkecil dan mengendalikan erosi sampai batas yang dapat diperkenankan (*acceptable limit erosion*). Dengan demikian proses terjadinya erosi dapat dikatakan bahwa erosi berawal dari erosi geologi atau dipercepat yang diangkut oleh air pada suatu aliran secara terus atau dengan kata lain terkonsentrasi pada suatu tempat aliran.

Bila permukaan tanah telah jenuh, sehingga air sudah tidak dapat menginfiltrasi kedalam tanah, maka aliran permukaan (*sheet flow* atau *over land flow*) ini akan mengalir secara dangkal dipermukaan tanah dan mengangkut partikel-partikel tanah yang lepas. Biasanya aliran-aliran ini dangkal dan agak melebar yang nantinya bersatu pada suatu tempat membentuk suatu alur (*rills*) dan beberapa waktu kemudian alur tersebut akan membesar dan permanen yang disebut selokan atau *gullies* atau seterusnya membentuk tebing anak sungai.



Gambar 3. Erosi

B. Mekanisme Terjadinya Erosi

Air hujan yang jatuh di permukaan tanah, akan menghancurkan *aggregat* dan terlepasnya partikel-partikel tanah yang dibantu atau dipercepat oleh adanya daya penghancur dari air itu sendiri. Selanjutnya partikel-partikel tanah ini akan menyumbat pori-pori tanah, sehingga menurunkan kapasitas dan laju infiltrasi (mm/jam) air ke dalam tanah.

Dengan demikian jelas bahwa jika intensitas hujan yang turun lebih tinggi dari kapasitas dan laju infiltrasi akan terjadi genangan air di permukaan tanah, yang kemudian akan mengalir menjadi aliran permukaan (*run off*). Air yang mengalir pada permukaan tanah ini mempunyai energi untuk mengangkut partikel-partikel tanah yang telah dilepaskan baik oleh pukulan butir hujan maupun aliran permukaan itu sendiri. Selanjutnya energi aliran permukaan sudah tidak mampu lagi untuk mengangkut partikel-partikel tanah tersebut, maka terjadilah pengendapan.

Energi yang bekerja dalam mekanisme terjadinya erosi mempunyai dua bentuk, yakni energi potensial (PE) dan energi kinetik (KE). Energi potensial adalah daya yang dihasilkan akibat adanya perbedaan ketinggian suatu benda terhadap lainnya, sehingga besarnya merupakan hasil perkalian dari massa benda "m". (kg), perbedaan ketinggian "h" (m), dan percepatan *gravity* "g" (m/s^2)

Sehingga rumusnya sebagai berikut :

$$PE = m.h.g$$

Satuan dari energi potensial adalah joule = $\text{kg.m}^2\text{s}^{-2}$. Untuk menghasilkan erosi, energi potensial akan diubah menjadi energi kinetik atau energi gerak. Energi kinetik ini berhubungan erat dengan massa dan kecepatan suatu benda yang dinyatakan dengan rumus :

$$KE = 0,5.m.v^2$$

"m" adalah massa benda (kg) dan v^2 adalah kuadrat kecepatan (m/s), Ini menunjukkan bahwa hujan dengan butir ukuran besar menghasilkan energi kinetik relatif besar dibandingkan dengan hujan berbutir kecil .

Menurut Hudson (1973) dalam "*soil conservation*" hasil perhitungan untuk daerah tropis menunjukkan :

$$KE = 29,8 - \frac{127,5}{I}$$

Dimana I adalah intensitas hujan. Hujan dengan intensitas rendah (gerimis) butirnya kecil, sedang hujan badai intensitas tinggi berbutir kasar.

C. Pengaruh Erosi terhadap Fisik Tanah

Pengaruh erosi terhadap menurunnya kesuburan fisik tanah dapat dicirikan dengan terjadinya.

1. Penghanyutan Partikel Tanah

Pengaruh erosi terhadap menurunnya partikel-partikel tanah disebabkan adanya aliran dan kemiringan, yang selanjutnya akan diendapkan pada suatu tempat yang lebih rendah. Jauh atau dekatnya pengendapan itu tergantung pada ukuran partikel, jelasnya liat, debu dan pasir halus akan terhendapkan jauh dari tempat semula, dan partikel-partikel pasir pada umumnya lebih kasar/ ukurannya lebih besar akan terhendapkan tidak jauh dari tempat semula, dan partikel-partikel pasir pada umumnya lebih kasar/ ukurannya lebih besar akan terendapkan tidak jauh dari tempat pelepasannya.

Pada tanah berpasir biasanya berlangsung erosi selektif sedang pada tanah *loss* berlangsung erosi total. Erosi selektif hanya komponen yang halus yang terhanyutkan misalnya liat, debu, pasir halus. Erosi total seluruhnya yang tampak dihanyutkan.

2. Perubahan Struktur Tanah

Erosi tidak hanya terbatas pada penghanyutan partikel tanah saja, melainkan juga bahan organik serta koloid tanah penting sebagai pengikat partikel-partikel tanah yang mendorong ke arah peningkatan stabilitas struktur tanah, sedang bahan organik meningkatkan kegiatan biota tanah, yang menyebabkan pula terbentuknya struktur remah. Dengan demikian berlangsungnya penghanyutan sehubungan dengan terjadinya erosi akan menyebabkan terbentuknya struktur tanah yang jelek. Dapat ditambahkan bahwa pada tanah-tanah yang telah diserang erosi, biasanya dijumpai struktur terlepas (*polyeder*).

3. Penurunan Kapasitas Infiltrasi dan Penampungan

Rusaknya struktur tanah oleh erosi, demikian pula perubahan-perubahan yang terjadi pada susunan tanah, akan menyebabkan rusaknya pori-pori makro maupun mikro, sehingga kapasitas infiltrasi tanah menurun, dengan demikian aliran air permukaannya menjadi lebih lancar.

Kapasitas penampungan air yaitu kemampuan tanah untuk mengabsorpsi dan menahan air secara kapiler. Pada tanah liat dan geluh pori-pori halusanya banyak, kapasitas penampungan air dapat dikatakan paling besar. Oleh karena itu dengan hanyutnya partikel-partikel halus, maka kapasitas penampungan akan menurun.

4. Perubahan Profil Tanah

Pada tanah yang mempunyai kemiringan, berlangsungnya erosi akan banyak menghanyutkan partikel-partikel tanah dari bagian atas ke bawah. Kejadian ini dikarenakan bagian atas atau tengah tanah lereng pada umumnya digunakan sebagai lahan pertanian dan daya aliran air dan bagian atas ke bagian tengah menjadi kuat. Karena erosi berlangsung sangat hebat di bagian ini, lapisan olah (horison A) dan lapisan bawah tanah (horison B) akan terkikis dan terhanyutkan, yang selanjutnya akan muncul ke permukaan yaitu bahan induk tanah, atau tinggal lapisan olah yang sangat tipis yang berasal dari tanah terhanyut dari bagian atasnya saja.

Pada bagian terbawah kelereng atau kaki lereng terjadi pengendapan bahan-bahan yang dihanyutkan di atas profil tanah asli. Dengan demikian pada kaki lereng akan tersusun : horison aluvial (endapan) - horison A - horison B - bahan induk. Kalau pada tanah berlereng, perubahan profil tanah seperti di atas akan tampak sebagai berikut : pada bagian atas lereng tanah berhutan dengan pohon-pohon yang rapat, pada bagian tengah berlereng itu biasanya tampak tanah kurang subur yang apabila diolah harus hati-hati, dan pada kaki lereng biasanya terdapat tanah yang subur.

D. Pengaruh Erosi pada Kesuburan Kimia Tanah

Erosi tanah akan menghanyutkan pula sejumlah unsur hara tanaman, baik terbawa dalam aliran permukaan atau terhanyutkan bersama - sama massa tanah yang tererosi. Hasil penelitian yang akan dikemukakan, akan memperjelas keadaan di atas.

JUNG (1953), telah membuktikan terjadinya penghanyutan humus, P_2O_5 dan K_2O bersama-sama partikel tanah yang tererosi. Di atas telah dikemukakan bahwa pada bagian tengah tanah berlereng selalu terjadi erosi hebat, sehingga nilai humus, P_2O_5 dan K_2O adalah paling rendah bila dibandingkan dengan pada bagian bawah lereng tersebut (kaki lereng/kaki bukit), karena pada kaki lereng terjadi akumulasi bahan-bahan yang tererosi. Tabel yang dikemukakan JUNG adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Distribusi Humus, P_2O_5 dan K_2O di Dalam Tanah Tererosi

Bagian Lereng	:	P_2O_5	K_2O	Humus
		(mg/l OOG tanah)		(%)
Puncak	:	10,0	14,3	1,69
Tengah	:	4,7	9,8	1,58
Bawah	:	7,2	16,4	1,71

Dengan terangkut/ terhanyutkannya unsur-unsur hara serta bahan lapisan olah tanah, aktifitas biota tanahnya akan sangat menurun, dan dengan demikian terjadilah tanah kritis, yang kemungkinan karena sukar dipulihkannya akan terjadi tanah mati. Di sinilah kepentingannya melakukan usaha konservasi/ pemulihan yaitu dengan secara aktif melakukan pemeliharaan, pengolahan tanah yang hati-hati dan tindakan yang baik terutama pada tanah-tanah yang begitu parah terhadap erosi.

E. Bentuk-bentuk Erosi

Para pakar pengawetan tanah pada mulanya mengklasifikasikan bentuk-bentuk erosi menjadi :

1. Erosi lembar (*sheet erosion*);
2. Erosi alur (*riil erosion*);
3. Erosi selokan (*gully erosion*);
4. Erosi tebing (*strem bank erosion*).

Tetapi klasifikasi tersebut tidak memperhitungkan kerusakan agregat dan terlepasnya partikel-partikel dari massa tanah akibat pukulan air hujan. Oleh karena itu, Morgan (1979) mengklasifikasikan sebagai berikut : 1) Erosi percikan (*splas erosion*); 2) Erosi aliran permukaan (*overland flow erosion*); 3) Erosi aliran bawah permukaan (*subsurface flow erosion*); 4) Erosi alur (*riil erosion*); 5) Erosi selokan (*gully erosion*); 6) Erosi gerakan massa tanah (*mass movement flow erosion*); 7) Erosi angin (*wind erosion*);

1. Erosion Percikan (*Splash Erosion*)

Erosi percikan adalah terlepas dan terlemparnya partikel-partikel dari massa tanah akibat pukulan butir hujan secara langsung dari udara maupun dari intersepsi tajuk. peristiwa ini mudah dimengerti dengan memperhatikan jatuhnya sebutir air hujan pada permukaan tanah yang berlereng. Pada saat tiba di permukaan tanah, tanah akan terpercik dan terpental ke udara kadang-kadang sampai beberapa cm yang kemudian mengalir ke tempat yang lebih rendah.

Intyre (1958) menyatakan bahwa ada empat pase dalam proses percikan, yakni : Terjadinya pembasahan yang cepat pada permukaan tanah, sehingga gaya kohesi antara partikel tanah menurun, yang akibatnya laju erosi percikan meningkat. Kemudian diikuti oleh terjadinya pemadatan permukaan tanah akibat pukulan air hujan sehingga terbentuk lapisan kerak (*crust*) tipis yang akan menurunkan besarnya infiltrasi dan meningkatkan akumulasi air, yang dapat

menimbulkan aliran laminar (sejajar permukaan) atau aliran turbulensi (tidak teratur dan beriak) yang mampu menghilangkan sebagian lapisan kerak pada permukaan tanah

Percikan maksimum akan terjadi segera setelah tanah menjadi basah, dan kemudian akan menurun dengan meningkatnya waktu, sejalan dengan semakin meningkatnya ketebalan lapisan air yang terbentuk pada permukaan tanah. Dari hasil penelitian menunjukkan nilai erosi percikan maksimum akan terjadi kira-kira 2 - 3 menit setelah hujan yang intensitas cukup tinggi mulai turun, dan nilai ketebalan maksimum lapisan air yang dapat ditembus oleh pukulan satu butir air hujan adalah kira-kira sama dengan diameter butir hujan itu sendiri.

Mihara (1952) mengemukakan bahwa ketinggian dan jarak terlemparnya partikel-partikel tanah sangat tergantung pada kecepatan jatuhnya butir hujan dan kondisi permukaan tanah. Pada lahan-lahan miring gerakan percikan akan lebih besar menuju ke arah bawah lereng, hal ini dipengaruhi adanya lereng/ sudut pukulan butir hujan yang terbentuk akibat adanya bidang miring dan kadang-kadang dibantu oleh hujan badai.

Pada umumnya para pakar sependapat bahwa kemudahan partikel-partikel tanah untuk dilepaskan dari dari massa tanah akan meningkat sebanding peningkatan ukuran partikel tanah dan sebaliknya kemudahan partikel tanah untuk diangkat akan meningkat sebanding dengan penurunan partikel tanah. Sebagai contoh, partikel liat akan lebih sukar untuk dilepaskan bila dibandingkan dengan partikel pasir, tapi partikel liat akan lebih mudah untuk diangkat. Sukarnya partikel liat untuk lepas dikarenakan adanya gaya kohesi atau fisika kimia yang kuat antara partikel-partikel liat itu sendiri, sehingga mampu mengatasi energi pelepasan yang dihasilkan oleh pukulan air hujan (Yariv, 1976)

Moeyersons dan de Ploey (1976) telah menemukan bentuk lain dari erosi percikan yang dikenal dengan istilah Rayapan Percikan (*splash creep*). Di sini, partikel-partikel ini kemudian akan bergerak dengan gerakan yang menyerupai rayapan akibat pukulan butir hujan. Jatuhnya butir air hujan ke permukaan tanah mineral yang *porous* adalah merupakan awal terjadinya proses erosi percikan. Dengan terlepas dan terlemparnya partikel tanah atau hanyut bersama aliran air ke tempat yang lebih rendah dimana partikel ini akan mengendap atau terperangkap dalam pori-pori tanah. Pada penumpukan hasil pelepasan baik dan pukulan air hujan maupun pengikisan aliran permukaan pada saat kering akan dapat membentuk kerak tanah pada permukaan. Sudah barang tentu hasil dari kerak tanah ini akan

memadatkan tanah permukaan yang dapat mengakibatkan kapasitas infiltrasi menurun dan terjadinya aliran turbulen di permukaan tanah yang cukup besar dan dapat mengikis permukaan tanah sebagai erosi tanah.

Menurut Tackett dan Pearso, 1965, bahwa tebal kerak tanah pada tanah liat dapat sampai 0,1 mm, dan pada kedalaman 1-3 mm dan ada terdapat pori-pori yang terisi tanah halus dari hasil pencucian. Dengan demikian diduga bahwa air yang tertangkap di lapisan bawah susah untuk berevaporasi, sehingga cepat jenuh pada saat menerima air infiltrasi. Pada tanah lempung dan pasir berlempung, kerak tanah ini cepat terjadi, sedang pada tanah liat dan bahan organik agak lambat. (Carson dan Kirkby, 1972 ; Meyer, 1981) menyatakan untuk tingkat pelepasan partikel-partikel tanah pada tanah gundul atau tidak bervegetasi dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$Dr = \frac{I}{S} \sin \alpha$$

Dimana "I" adalah intensitas curah hujan "S" adalah kelerengan yang dinyatakan dengan m.m-1 atau sinus sudut lereng.

Nilai b = 2 akan tetapi dapat disesuaikan dengan tekstur tanahnya dengan menggunakan rumus : $b = 2,0 - (0,01 \times \% \text{ liat})$ (Meyer, 1981), sedang nilai untuk c = 0,2 - 0,3 (Quansah, 1981 dan Sfalanga, 1984). Pada permukaan yang berlereng, partikel tanah mudah terlepas ke lereng bawah demikian pula pengangkutannya. Pengangkutan percikan per unit luas (Tr) dapat dinyatakan dalam hubungan :

$$Tr = \frac{I^d}{S^f} \sin \alpha$$

Dimana d dan f bernilai 1, akan tetapi nilai f dapat menurun sesuai kecuraman lereng yaitu 0,80 untuk lereng 20 derajat dan 0,75 untuk lereng 25 derajat.

2. Erosi Aliran Permukaan (Overland Flow Erosion)

Morgan (1979) mengemukakan bahwa erosi aliran permukaan akan terjadi akibat terlampauinya nilai infiltrasi atau kapasitas simpan air tanah, baik oleh intensitas maupun oleh lamanya hujan. Aliran permukaan tanah biasanya dalam bentuk aliran lembar (*sheet*) yang tidak pernah merata dan pada umumnya menyerupai anyaman yang mengalir dengan arah aliran yang tidak nyata.

Oleh karena itu kemampuan untuk mengikis tanah pun tidak sama, tetapi aliran ini dapat terhalang oleh batu-batuan dan vegetasi.

Pada tumpukan vegetas misalnya rumput atau belukar rendah, aliran ini dapat berputar-putar.

Untuk mengetahui besar/ kemampuan aliran permukaan dalam mengikis permukaan tanah dapat diamati dan karakteristik hidrolis. Di sini bilangan Reynold (Re) dan bilangan Froude (F) dapat digunakan dengan rumus sebagai berikut :

$$Re = \frac{v \cdot r}{V}$$

$$F = \frac{v}{g \cdot r}$$

dimana "r" adalah jari-jari hidrolis aliran permukaan yang dinyatakan oleh kedalaman aliran, "V" adalah viskositas kinematik air, "v" adalah kecepatan aliran, dan "g" adalah gaya gravitasi.

Bilangan Re menyatakan suatu indek turbulensi aliran (*turbulence flow index*), semakin besar bilangan Re, maka semakin besar pula kemampuan aliran permukaan untuk mengikis permukaan tanah. Bila $Re < 500$ dinyatakan bahwa aliran permukaan bersifat laminar yang tidak menyebabkan erosi, tetapi bila $Re > 2000$, ini bersifat turbulen yang sangat erosif sekali. Sedang nilai antara 500 sampai 2000 menunjukkan aliran terganggu (*disturbed flow*) yang dapat berubah-ubah dari aliran laminar menjadi turbulen atau sebaliknya akibat pukulan-pukulan butir hujan (Emmet, 1970) Sedang nilai $F < 1,0$ menyatakan bahwa aliran permukaan tanah adalah tenang atau di bawah nilai kritis, sedangkan kalau nilai bilangan $F > 1,0$ menyatakan bahwa aliran permukaan yang terjadi adalah sangat kritis atau sangat cepat sehingga sangat erosi.

Sebagai contoh dapat dilihat bahwa partikel-partikel tanah yang berukuran 0,01 mm memerlukan kecepatan aliran sebesar 60 cm/det untuk melepaskan dari massa tanah, dan akan segera diendapkan jika kecepatan aliran turun hingga di bawah 0,1 cm/det.

Nilai kecepatan aliran sangat dipengaruhi oleh hidrolis, derajat kelerengan dan kekasaran permukaan, sebagaimana dinyatakan dalam persamaan Manning :

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

dimana "V" adalah kecepatan aliran (cm/det), "R" adalah radius hidrolis, "S" adalah tingkat kelerengan tanah dan "n" adalah koefisien kekerasan permukaan tanah. Namun persamaan Manning tersebut hanya berlaku pada keadaan aliran permukaan yang sangat turbulen dan mengalir di atas permukaan tanah keras.

Oleh karena itu Savat, 1977 mengubah nilai exponen dalam persamaan Manning dengan mendasarkannya pada nilai Reynold, sebagai berikut :

$$V \propto R^1 S^{0,95} \quad \text{untuk } Re = 250$$

$$V \propto R^{0,95} S^{0,70} \quad \text{untuk } Re = 500$$

$$V \propto R^{0,5} S^{0,40} \quad \text{untuk } Re = 100$$

Dengan menggunakan kontinuitas dan persamaan kecepatan aliran dan Manning, Meyer (1965) juga mendapatkan bahwa :

$$V \propto S^{1/3} QW^{1/3}$$

yang berlaku untuk kondisi kekerasan permukaan yang konstan, sedang "QW" adalah laju air yang disalurkan.

Kemudian Meyer dan Wischmeier (1969) mendapatkan persamaan untuk menghitung kapasitas pelepasan (Df) dan kapasitas pengangkutan (Tf) dengan rumus :

$$Df \propto S^{2/3} QW^{2/3}$$

$$Tf \propto S^{5/3} QW^{5/3}$$

persamaan ini kemudian dikaji oleh Carson dan Kirkby (1972) dengan mempertimbangkan hidrolis pengangkutan endapan), sehingga mendapatkan persamaan :

$$Q_s = 0,0085 QW^{1,75} K^{-1,11} (\sin \theta \cos \theta)^{1,625}$$

dimana "Qs" adalah endapan yang disalurkan per unit luas, dan "k" = adalah ukuran luas permukaan partikel (untuk 84% partikel = berukuran halus). Persamaan yang sama pula telah dibuat oleh Komura (1976) dan Morgan sebagai berikut :

$$Q_s = 467 \frac{C_e QW^{5/8} L^{3/8} \sin^{3/4} \theta}{d_{50}}$$

$$Q_s = 0,0061 QW^{1,8} \sin^{1,13} \theta \left(\frac{d_{35}}{d_{50}} \right)^{-0,15} \left(\frac{d_{35}}{d_{50}} \right)^{-1}$$

dimana "C" adalah rasio daerah tanah gundul, dan "Ce" adalah indek erodibility, "L" adalah panjang lereng dan "d50" dan "d35" adalah ukuran luas permukaan partikel pada 50 dan 35 "d35" adalah partikel halus. Namun masih ada lagi penelitian laboratorium oleh Quansah (1982), dimana di samping mempertimbangkan curah hujan dan kelerengan, karena faktor ini akan memberikan sedikit pengaruh terhadap laju air yang disalurkan, hubungan adalah sebagai berikut:

$$Q_s \propto QW^{2,13} \sin^{2,27} \theta$$

Persamaan-persamaan tersebut hanyalah suatu model pendekatan untuk mengetahui besaran erosi yang diakibatkan oleh aliran permukaan berdasarkan agen-agen penyebab erosi, tapi nilai-nilai ini dasarnya diperoleh dari hasil pengamatan yang nyata di lapangan dengan mengukur hubungan sedimen yang terangkut oleh aliran permukaan dan laju air yang disalurkan oleh aliran permukaan.

3. Erosi Aliran Bawah Permukaan (*Subsurface Flow*)

Erosi ini terjadi akibat adanya pergerakan/ aliran di bawah permukaan tanah dan biasanya partikel tanah yang tererosi relatif sedikit, namun pada suatu saat tertentu dapat juga menimbulkan bahaya.

Aliran bawah permukaan adalah gerakan air pada media yang porous (tanah dan akifer) resmi digambarkan dengan menggunakan aliran massa yang umum sebagai berikut :

Laju Aliran = (Konduktivitas) (Gaya Penggerak)

Istilah konduktivitas adalah suatu koefisien empiris yang digunakan untuk mencirikan permeabilitas intrinsik medium dan sifat-sifat air (kerapatan dan viskositas); gaya penggerakan adalah suatu perbedaan (gradient) potensial (gradien energi hidrolik) yang terutama bergantung pada gaya-gaya hisapan tekanan negatif dan gravitasi. Aliran-aliran bahwa permukaan bersifat tiga dimensional dan sangat dipengaruhi oleh proses-proses tanaman yang aktif, dan konfigurasi lapangan setempat (topografi).

Akhir-akhir ini para pakar konservasi tanah dan air banyak menitik beratkan perhatiannya pada adanya erosi aliran bawah permukaan (*subsurface flow*) yang terjadi akibat adanya aliran air yang terpusat pada terowongan-terowongan dan atau saluran air yang ada di permukaan tanah. Pengaruh erosi yang ditimbulkan dapat dikenal melalui runtuhnya terowongan-terowongan tersebut, sehingga membentuk selokan-selokan kecil. Memang masih sedikit sekali pengetahuan tentang kemampuan mengikis dari tanah yang bergerak melalui ruang pori dalam tanah, walaupun telah kita ketahui partikel-partikel tanah yang berukuran halus dan unsur-unsur hara mungkin tercuci akibat adanya proses ini. Burkin (1957) membuktikannya dengan menggunakan hujan buatan (*simulated rain*) pada suatu tanah dengan kelerengan 20 - 25 derajat dengan laju intensitas 2,5 mm/jam selama satu jam.

Lebih jelas lagi dapat dilihat dari studi yang dilakukan oleh Roose (1970) di Senegal yang menunjukkan, bahwa erosi aliran bahwa permukaan hanya menghasilkan $\pm 1\%$ dari total bahan yang tererosi

dari suatu lereng bukit. Tetapi bagaimanapun juga adanya erosi aliran bahwa permukaan tidak boleh diabaikan begitu saja, sebab konsentrasi mineral-mineral basa yang terlarut dalam aliran bawah permukaan adalah dua kali lipat lebih besar dari pada yang terkandung dalam aliran permukaan, padahal unsur-unsur ini sangat diperlukan untuk pertumbuhan vegetasi yang nantinya diharapkan dapat menahan lajunya erosi.

Jadi efek aliran permukaan khususnya aliran yang tidak pekat ini akan berakumulasi pada tanah, terutama pada bagian lereng bawah atau daerah cekungan yang dapat mempercepat kejenuhan tanah permukaan, sehingga mempercepat proses terjadinya aliran permukaan.

4. Erosi Alur (*Riil Erosion*)

Banyak penelitian beranggapan bahwa efek dari erosi alur dan erosi aliran permukaan tidak begitu berbeda pada permukaan tanah lereng bukit.

Pada umumnya para pakar sependapat bahwa alur terbentuk pada jarak tertentu kearah bahwa lereng sebagai akibat terkumpulnya aliran permukaan, sehingga membentuk saluran-saluran kecil. Tetapi pengamatan yang dilakukan oleh Morgan (1977) membuktikan bahwa alur juga dapat terbentuk pada permukaan dekat kaki lereng. Terbentuknya alur ini adalah akibat adanya aliran deras yang terjadi secara tiba-tiba (karena adanya rintangan kecil), sehingga terbentuk galian kecil yang kemudian secara cepat akan memanjang ke arah kaki lereng. Perlu diketahui bahwa alur-alur yang terbentuk pada umumnya tidak terus ada lanjutannya, sehingga tidak mempunyai hubungan langsung dengan sungai. Hal ini mungkin dikarenakan oleh aliran permukaan yang dangkal dan selalu berubah-ubah dari hujan yang pertama ke hujan yang lainnya akibat penutupan saluran-saluran kecil. Hanya kadang-kadang induk alur kemudian berkembang, sehingga bentuk permanen dengan saluran keluar (*outlet* menuju sungai).

Savat (1979) menerangkan tentang pengaliran yang diawali oleh kondisi aliran yang dinyatakan oleh bilangan Froude (Fe) sebagai berikut:

$$F_c > 1 + 0,0035 d$$

dimana "d" adalah median ukuran butir tanah (Mm). Untuk peramalan terjadinya alur pernyataan di bawah ini dapat dijadikan pedoman :

jika $F \leq F_c$ tidak akan terjadi alur

jika $F > F_c$ dan $\text{ppm} \leq 20.000$ terjadi alur

jika $F > F_c$ dan $\text{ppm} > 20.000$ terjadi alur

Dengan adanya aliran yang terpusat ini, maka dapat diramalkan bahwa erosi alur merupakan penyebab utama timbulnya endapan tanah. Dengan plot percobaan sepanjang 4.5m Mutchler dan Young (1975) membuktikan, bahwa lebih dari 80% endapan yang ada adalah yang diangkut oleh erosi alur.

Sedang hasil penelitian Meyer dan Foster (1975) menunjukkan bahwa lebih dari 80% endapan yang diangkut melalui alur adalah berasal dari hasil erosi percikan dan aliran permukaan. Hal ini memberikan gambaran bahwa aliran permukaan mengangkut partikel-partikel tanah yang dilepaskan oleh erosi percikan (di daerah antara alur) ke dalam alur.

Aliran dapat mengangkut butiran tanah yang agak besar seperti yang diamati oleh Meyer, Foster dan Nikolov, (1975) membuktikan bahwa 15% dari partikel tanah diangkut oleh aliran alur pada kelerengan 3,5 derajat pada tanah olahan lempung berdebu berukuran lebih dari 1 mm, dan 3% untuk berukuran lebih dari 5 mm.

Selanjutnya pada kelerengan 4,5 derajat pada tanah yang belum terganggu lempung berdebu, menunjukkan bahwa alur dapat mengangkut butiran lebih besar dari 2,0 mm.

Dalam hal ini partikel-partikel liat juga ikut tererosi kadang-kadang sampai dalam bentuk agregat (Alberts, Moldenhauer and Foster, 1980).

Efektivitas erosi alur dalam mengikis dan mengangkut tanah tergantung dan jarak alur yang satu dengan alur yang lainnya. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Morgan (1977) menunjukan bahwa pada interval 8 - 9 m erosi akan efektif sedangkan pada interval 300 - 350 m maka lebih dari 90% kehilangan tanah adalah semata-mata hanya disebabkan oleh erosi aliran permukaan. Alur juga bisa terjadi pada lahan-lahan yang ditanami dengan tanaman menurut arah lereng, atau juga bekas tempat menarik balok-balok kayu (Arsyad, 1980).

5. Erosi Selokan (*Gully Erosion*)

Aliran selokan (parit) adalah suatu aliran yang terkonsentrasi pada suatu tempat yang relatif permanen. Di sini telah ada batas yang nyata terutama batas tepi dan kedalaman serta panjang mengikuti lereng. Batas ini adalah merupakan hasil pengikisan tepi dan bagian dalam saluran yang dialiri secara terus-menerus atau hanya beberapa saat bilamana ada hujan.

Pada mulanya erosi selokan dianggap sebagai perkembangan lanjut dari erosi alur. Walau dugaan ini tidak salah, tetapi ternyata terbentuknya erosi selokan jauh lebih kompleks. Leopold, Walman dan Miller (1964) telah menjelaskan mekanisme terbentuknya erosi selokan.

Tetapi tidak semua selokan semata-mata terbentuk akibat adanya aliran permukaan. Beberapa penelitian membuktikan bahwa selokan dapat juga terbentuk sebagai akibat runtuhnya saluran-saluran terowongan air di bawah tanah permukaan (Berri dan Ruxton, 1960). Cara lain terbentuknya selokan adalah karena adanya tanah longsor yang bentuknya memanjang atau dikarenakan bentuk/ tipe topografi yang secara alami merupakan tempat terkonsentrasinya beberapa aliran di bagian atasnya dimana tanah yang menopang tidak mampu untuk menahan lajunya aliran air yang mengakibatkan terjadinya erosi.

Untuk membedakan erosi selokan yang telah terjadi, kita dapat melihat atau mengamati bentuk jaringan yang membuatnya. Jadi di sini erosi selokan akan dititikberatkan pada tipe jaringannya dan bukan pada bentuk individu selokannya. Dari studi yang dilakukan di Tunisia, Deploey (1974) telah membedakan adanya tipe jaringan selokan, yakni *Axial*, *Digitate* dan *Frontal*. Penggolongan ini didasarkan pada adanya perbedaan tanah dan pengaruhnya pada pembentukan selokan. Jaringan tipe *Axial* terdiri dari individu selokan dengan potongan depan (*head-cut*) yang mempunyai arah pengembangan ke atas lereng akibat adanya aliran permukaan dan biasanya terjadi pada tanah-tanah endapan yang berkerikil (*gravelly deposits*). Jaringan tipe *Digitate* dicirikan oleh adanya gerak mundur dengan beberapa potongan depan yang meluas hingga ke arah anak sungai, dan biasanya terjadi pada tanah-tanah lempung berliat. Sedang tipe *Frontal* umumnya dilalui dari daerah tepi sungai tempat bermuaranya saluran-saluran air, yang dicirikan oleh adanya pengikisan tebing sungai (*river bank*) dan terutama terjadi pada tanah-tanah lempung berpasir dengan struktur *columner* (tiang). tidak semua erosi akibat adanya erosi dari permukaan tanah, Berry dan Ruxton (1960) telah mengamati erosi di Hongkong menyatakan bahwa penebangan dan pembersihan hutan alamiah yang menyebabkan erosi selokan terjadi.

Kalau disimak dari uraian tersebut di atas maka penyebab terjadinya aliran selokan adalah terlalu banyaknya air dari curah hujan, kondisi tanah tidak stabil, adanya vegetasi rumput yang mengikat/ memperkuat permukaan tanah dimana dilalui oleh aliran permukaan yang biasanya terjadi pada daerah pengembalaan atau area bekas bakar, apalagi bila ditunjang oleh aliran bawah permukaan/ dalam tanah yang kadang-kadang mempercepat terjadinya tanah longsor.

6. Erosi Gerakan Massa Tanah (*Mass Movement*)

Walaupun gerakan massa tanah telah banyak dikaji oleh para pakar geologi, geomorfologi dan teknik, tetapi pada umumnya mereka mengabaikan kaitannya dengan erosi tanah. Padahal jumlah endapan

yang dihasilkan oleh erosi ini jauh lebih besar dari pada yang dihasilkan oleh erosi aliran permukaan, erosi alur maupun erosi selokan.

Ditinjau dari gerakannya, maka erosi gerakan massa mempunyai bermacam-macam bentuk yakni rayapan (*creep*), longsor (*landslide*), runtuh batuan (*rock - fall*) dan aliran lumpur (*mudflow*). Arsyad (1980) mengemukakan bahwa longsor terjadi sebagai akibat meluncurnya suatu volume tanah di atas suatu lapisan agak kedap air yang jenuh air (lapisan yang terdiri dari liat atau mengandung kadar debu tinggi) akan sebagai peluncur. Longsor akan terjadi bila terpenuhi tiga keadaan yaitu :

- a. Adanya lereng yang cukup curam sehingga massa tanah dapat bergerak atau meluncur ke bawah.
- b. Adanya lapisan di bawah permukaan massa tanah, yang agak kedap air dan lunak, yang akan menjadi bidang luncur, dan
- c. Adanya cukup air dalam tanah sehingga lapisan massa tanah yang tepat di atas lapisan kedap air tersebut menjadi jenuh.

7. Erosi Angin (*Wind Erosion*)

Faktor utama yang menyebabkan erosi angin adalah kecepatan pergerakan udara atau angin yang bergerak rendah di permukaan tanah dan tidak terhalang oleh vegetasi, batu-batuan dan penghalang lain. Kecepatan angin meningkat secara eksponensial dengan ketinggian penghalang. Erosi angin ini banyak terjadi di daerah berpasir atau beberapa tempat di tepi pantai.

Faktor-faktor Penyebab Erosi

Pada umumnya para pakar pengawetan tanah dan air menyimpulkan, bahwa erosi adalah akibat interaksi kerja antara beberapa faktor meliputi faktor iklim, topografi, vegetasi, tanah dan manusia, yang dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$E = f(i, r, v, t, m)$$

dimana “E” adalah erosi, yang merupakan fungsi dari “I” (iklim), “r” (topografi), “v” (vegetasi), “t” (tanah), dan “m” (manusia). Morgan (1979) menggolongkan faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya erosi menjadi tiga golongan, yakni :

a) Faktor energi

Faktor energi ini meliputi erosivitas, aliran permukaan, angin, relief, sudut lereng dan panjang lereng, dan jarak teras.

b) Faktor ketahanan

Faktor ketahanan meliputi erodibilitas, infiltrasi, dan pengolahan tanah.

c) Faktor pelindung

Faktor pelindung meliputi kepadatan penduduk, tanaman penutup, nilai kegunaan lahan dan pengolahan lahan.

Hudson (1979) kemudian menyempurnakan faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya erosi menjadi dua golongan saja, yakni :

a) Erosivitas (kemampuan hujan untuk menimbulkan erosi) ;

b) Erodibilitas (kemampuan tanah untuk menahan tidak terjadinya erosi)

$$\text{Erosi} = f(\text{Erosivitas})(\text{Erodibilitas})$$

A. Erosivitas

Erosivitas ialah kemampuan air hujan untuk menghancurkan dan menghanyutkan partikel tanah. Jadi merupakan fungsi sifat fisik curah hujan (jumlah hujan, lama hujan, ukuran butir serta kecepatan jatuh butir hujan) yang menentukan kemampuannya dalam menghancurkan dan menghanyutkan partikel tanah (erosi). Di sini energi kinetik yang merupakan kekuatan utama penghancuran agregat-agregat tanah.

Ternyata bahwa tidak semua curah hujan dapat menimbulkan erosi, sebagai contoh jumlah hujan sebesar 3.600mm tersebar sepanjang tahun mungkin tidak sampai menimbulkan erosi, halnya jika hujan tersebut terjadi selama 2-3 bulan secara terus-menerus, energi kinetiknya dapat menimbulkan penghancuran dan kemudian terangkut oleh air hujan ke bagian-bagian yang lebih bawah atau terhanyutkan ke dalam sungai.

Parameter yang sekarang dipakai dalam penelitian guna menjawab mekanisme erosi akibat kekuatan air hujan adalah parameter yang berdasarkan energi yang dihasilkan hujan pada setiap berlangsungnya curahan hujan, kekuatan butir-butir hujan atau kecepatan akhir butir yang menimpa dan menghancurkan permukaan tanah. Di dalam melakukan penelitian akan didapatkan : $EK = \frac{1}{2} mv^2$ (EK = energi kinetik, m = massa, v = kecepatan). Ini menunjukkan bahwa hujan dengan butir berukuran besar menghasilkan energi kinetik relatif lebih besar dibandingkan dengan hujan yang terdiri dari butir hujan berukuran kecil. Menurut Hudson (1973) dalam "*Soil Conservation*", hasil perhitungannya untuk daerah tropis menunjukkan :

$$EK = 29,8 - \frac{127,5}{I}$$

" I " berarti intensitas, dimana intensitas ternyata juga mempengaruhi ukuran butir hujan, hujan dengan intensitas rendah (gerimis) banyak mengandung butir hujan berukuran kecil, hujan badai dengan intensitas tinggi banyak mengandung butir hujan berukuran besar.

Kecepatan akhir butir hujan setara dengan gaya gravitasi, kecepatan akhir ini berhubungan erat dengan ukuran butir hujan. Butir hujan berukuran besar, bergaris tengah 5mm, mempunyai kecepatan akhir + 9m/detik atau + 32 km/jam. Dengan demikian kita dapat membayangkan betapa besar daya tumbuk butiran hujan yang kemudian terangkut aliran hujan pada permukaan. Baver (1960) dalam "*Soil Physics*" menyatakan bahwa erosi terbesar akan terjadi apabila jumlah hujan yang jatuh besar dengan intensitas yang besar pula, perhatikan tabel di bawah ini :

Tabel 3. Pengaruh Jumlah dan Intensitas Hujan terhadap Erosi

Jumlah Hujan (mm)	Intensitas maximum (mm/jam/10 mnt)	Waktu Hujan	Penghanyutan Tanah (ton/Ha)
65	7,5	30 jam	1
47,5	70	1 jam + 52 menit	128
22,5	87,5	15 menit	5,5

Di bawah ini terdapat pula tabel yang dikemukakan Sitanala (1976) dalam “Pengawetan Tanah dan Air” yang mengemukakan ketentuan standar tentang besar kecilnya intensitas hujan, sehubungan dengan klasifikasinya.

Tabel 4. Klasifikasi Intensitas Hujan

Besarnya Hujan (mm/jam)	Klasifikasi
< 6,25	Kecil
6,25-50,00	Sedang
12,50 - 50,00	Lebat
> 50	Sangat lebat

Penggunaan intensitas hujan mempunyai arti yang cukup penting, karena mempunyai hubungan yang erat dengan erosi. intensitas hujan menyatakan besarnya curah hujan yang jatuh dalam waktu singkat, yakni 5, 10, 15, atau 30 menit, yang dinyatakan dalam mm/jam. Hasil penelitian Fournier (1972) menunjukkan bahwa kehilangan tanah per kejadian hujan akan meningkat sejalan dengan peningkatan intensitas hujan. Walaupun intensitas hujan mempunyai hubungan yang cukup erat dengan erosi, tetapi kadang-kadang peranan intensitas hujan juga tidak jelas, hal ini dikarenakan adanya hujan juga berpengaruh.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa penggunaan curah hujan atau intensitas hujan secara terpisah untuk mendapatkan erosivitas ternyata kurang memberikan hasil yang memuaskan. Oleh karena itu penggunaan beberapa parameter biasanya akan lebih mendekati hasil yang diharapkan. Di muka telah diuraikan bahwa erosi berhubungan dengan energi karena itu pemakaian energi untuk menentukan erosivitas hujan tentunya akan memberikan harapan yang baik.

Jika kita mengetahui ukuran butir hujan serta kecepatan jatuhnya, maka dengan rumus energi kinetik dapat dihitung sebagai berikut :

$$KE/ EK = 1/2 m.v^2$$

Ukuran butir-butir hujan dapat diukur misalnya dengan menggunakan metode kertas absorpsi yang di atasnya diberi serbuk halus yang dikembangkan oleh Hall (1970). Cara lain yang diperkenalkan oleh Hudson (1964) adalah serbuk tepung, dimana hujan ditampung dalam cawan berisi tepung, dan setelah dikeringkan dengan oven butiran dapat dipisahkan dari tepungnya, Blanchard (1950) mendapat bahwa ukuran diameter sampai 4,6 mm butir hujan masih stabil, tetapi diameter diameter di atas 5,4 mm butir hujan sudah tidak stabil dan akan redah menjadi butiran yang lebih kecil lagi.

Seperti telah disinggung di muka, bahwa kecepatan jatuh butir hujan juga sangat menentukan besarnya energi kinetik, jadi dengan sendirinya juga akan mempengaruhi erosi. Kecepatan jatuh butir hujan ditentukan oleh gaya gravitasi bekerja secara seragam terhadap semua butir hujan dari berbagai ukuran, tetapi nilai tahanan udara akan semakin besar dengan semakin kecilnya ukuran butir hujan. Dengan demikian, semakin besar ukuran butir hujan akan semakin besar pula kecepatan jatuhnya.

Wischmeier dan Smith (1960) telah mendapatkan hubungan antara diameter hujan dengan kecepatan akhir dan jangkauan jatuh butir hujan seperti tersebut pada tabel 4.

Tabel 5. Hubungan Antara Diameter Butir Hujan, Kecepatan Akhir dan Jangkauan Jatuhnya dari Permukaan Bumi (Wischmeier dan Smith, 1960)

Diameter Butir Hujan (mm)	Kecepatan Akhir (m/det)	Jangkauan kecepatan
0,25	1,0	-
0,50	2,0	-
1,00	4,0	2,2
2,00	6,0	5,0
3,00	8,1	7,2
4,00	8,8	7,8
5,00	9,1	7,6
6,00	9,3	7,2

Sedang hubungan energi kinetik, intensitas hujan dan kecepatan jatuh butir dapat dinyatakan dengan rumus :

$$KE = \frac{I.V^2}{2}$$

Dimana "I" adalah intensitas hujan, "V" adalah kecepatan hujan. Hasil hubungan ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 6. Energi Kinetik Hujan dalam Hubungannya dengan Diameter, Kecepatan Jatuh dan Jumlah Tetesan Butir Hujan, untuk Curah Hujan dan Intensitas yang Berbeda-beda (Lull, 1959)

Curah hujan	Intensitas (cm/jam)	Diameter (mm)	Kecepatan Jatuh (m/det)	Jumlah tetesan (m ² /det)	Energi kinetik (watt/m ²)
Kabut	0,13	0,01	0,003	67 juta	1,6x10 ⁻⁹
Halimun	0,5	0,10	0,021	27.000	3,3x 10 ⁻⁴
Gerimis	0,025	0,96	4,1	150	6,1x10 ⁻³
Hujan malam	0,10	1,24	4,8	280	3,3x 10 ⁻²
Hulan sedang	0,38	1,60	5,7	495	1,7x10 ⁻²
Hujan lebat	1,5	2,05	6,7	495	9,4x10
Hujan agak lebat	4,1	2,40	7,3	820	8,9x10
Sangat lebat	10,0	2,85	7,9	1.214	9,2x10

Ellison (1974) telah mengembangkan hubungan antara pelepasan partikel tanah dengan kecepatan akhir, diameter butir, dan intensitas hujan, sehingga mendapat persamaan sebagai berikut :

$$E = \alpha \cdot K.V^{4,33} \cdot d^{1,07} I^{0,65}$$

Dimana "E" adalah besaran relatif dari pelepasan tanah selama 30 menit (gr), "K" adalah konstanta tanah, "V" adalah kecepatan butir (*feetdet*) "d" diameter butir, "I" adalah intensitas hujan (inch/jam). Dari hasil percobaan laboratorium, Bisal (1960) juga mendapatkan kesimpulan yang serupa bahwa :

$$G = K \cdot d.V^{1,4}$$

Dimana "G" adalah berat tanah yang dipercikkan (gr), "K" adalah konstanta tanah, "d" adalah diameter butir (mm), dan "V" adalah kecepatan jatuh butir hujan (m/det).

Walaupun banyak dan bahkan hampir setiap kejadian hujan selalu disertai dengan angin, tetapi masih sedikit sekali hasil penelitian yang dapat dikumpulkan tentang pengaruh angin terhadap erosivitas dan erosi.

Padahal menurut Disrud, dkk (1968) mengemukakan bahwa angin mempengaruhi ukuran maksimum butir hujan, dan sangat tergantung pada kecepatannya.

Perlu diketahui bahwa para pakar pengawetan tanah dan air masih memperdebatkan tentang pemakaian energi kinetik ($\frac{1}{2} mv^2$) dengan momentum (mv). Rose (1960) menyimpulkan bahwa, laju pelepasan partikel tanah lebih bergantung pada momentum butir hujan dari pada energi kinetiknya. Sebenarnya baik momentum maupun energi kinetik mempunyai pola hubungan yang sama dengan intensitas hujan, sehingga alasan pemilihan pemakaiannya bukan hal yang penting. Hanya masalah sekarang, di antara keduanya itu manakah yang lebih mudah dan akurat untuk diukur sehingga benar-benar dapat digunakan untuk menentukan erosivitas.

Oleh karena itu dicoba menghitung energi kinetik dengan data intensitas hujan, yang antara lain dilakukan oleh Wischmeier dan Smith (1958) yang mendapatkan persamaan :

$$KE = 11.87 + 8.73 \log_{10} I$$

Dimana I adalah intensitas hujan (mm/jam). dan KE adalah Energi Kinetik ($J m^{-2} mm^{-1}$). Dan untuk daerah hujan tropis, Hudson (1965) mengemukakan rumus

$$KE = 29,8 - \frac{127,5}{1}$$

Untuk menghitung energi kinetik suatu kejadian hujan pada pencatat hujan otomatis, kejadian hujan tersebut dibagi dalam jangka waktu tertentu misalnya tiap 5 menit (I_5) atau 15 menit (I_{15}) dan yang paling banyak digunakan adalah Intensitas maksimum 30 (I_{30}).

Hal ini dapat dengan menghitung curah hujan selama 30 menit pada grafik yang paling curam dari pengukuran curah hujan otomatis, kemudian dikalikan dua,

$$I_{30} = 2 \times R$$

dimana I adalah intensitas waktu

R adalah erosivitas hujan

Jika intensitas hujan kurang dari 4 mm/jam, maka dengan menggunakan rumus "EK" tersebut akan selalu didapatkan nilai 10. Dengan demikian jika intensitas hujan rendah, maka penggunaan rumus tersebut tidak cocok. Dengan demikian Wischmeier (1958) mengemukakan bahwa penggunaan data curah hujan dengan energi kinetik dapat meningkat korelasi/ hubungan terhadap terjadinya erosi.

Sehubungan dengan hal tersebut di atas maka digabungkan antara energi kinetik dengan intensitas maksimum 30 menit yang kemudian diberi kode "EI30" dan sebagai indek erosivitas kejadian hujan. Hudson

(1965) mengemukakan bahwa penggunaan “EI30” mempunyai berapa kelemahan:

- Energi kinetik yang dihitung dengan persamaan KE kurang cocok untuk hujan tropis, dan
- Pemakaian EI30 berarti menganggap bahwa erosi pasti terjadi pada setiap kejadian hujan sekalipun hujan yang sangat kecil, padahal Hudson (1965) telah membuktikan bahwa erosi baru terjadi jika intensitas hujan 25mm/jam.

Sehubungan dengan hal tersebut di atas Hudson (1973) mengembangkan indek erosivitas hujan yang dikenal dengan indek yakni energi kinetik yang diterima pada waktu intensitas hujan 25mm/jam. Untuk daerah temperate (empat musim), Morgan (1977) membuktikan bahwa pemakaian ambang intensitas yang lebih rendah sudah cukup, misalnya ≥ 10 .

Di samping itu, dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Bols (1978) di Indonesia telah mendapat suatu rumus untuk menghitung EI30 dengan jalan menghubungkan antara curah hujan bulanan (R) dalam cm, Jumlah hujan bulanan (D) dan curah hujan selama 24 jam pada bulan tersebut (M) dalam cm, Rumus adalah :

$$EI_{30} = 6,119 R^{1,21} \times D^{-0,47} \times M^{0,53}$$

Di bawah ini diberikan contoh untuk perhitungan erosivitas dari data curah hujan

Tabel 7. Contoh Perhitungan Erosivitas Hujan (Morgan, 1986)

Time from Start (min)	Rainfall (MM)	Intensity (mm h ⁻¹)	Kintic Energi (J m ⁻² mm ⁻¹)		Total Kinetic Energy (col 2x col 4)(J M ⁻²)
			Wischmeier	Hudson	Hudson
0-14	1.52	6.08	18.71	8.83	13.42
15-29	14.22	56.88	27.19	27.56	391.90
30-44	26.16	104.64	29.50	28.58	747.65
45-59	31.50	126.00	30.21	28.79	906.89
60-74	8.38	33.52	25.19	26.00	217.88
75-89	0.25	1.00	-	-	-
					2277.7

Dari data curah hujan (*rainfall*) dapat diperhitungkan besarnya intensitas, KE, dan total KE. Untuk intensitas diperoleh dari *rainfall* $\times$ 4; Kinetik energi Wischmeier dan Hudson, didapat dari rumus 27 dan 28, misal untuk Wischmeier

KE = $11,87 + 8,73 \times \log.6,08 = 18,71$, demikian pula untuk Hudson, sedang untuk total energi kinetik adalah *Rainfall* $\times$ KE. Sedang nilai indek Erosivitas dapat dihitung sebagai berikut :

(a) Wischmeier (EI_{30}):

$$\text{Maximum 30 - min rainfall} = 26,16 + 31,50 = 57,66\text{mm}$$

$$\text{Maximum 30 - min intensity} = 157,16 + 2 = 159,16\text{mm h}^{-1}$$

$$\text{Total kinetik energi} = 262\,668,98\text{ J m}^{-2}\cdot\text{mm h}^{-1}$$

(b) Hudson index (KE 25)

Total kinetik energi yang 25 adalah baris 2, 3, 4, 5 pada tabel sehingga indeksinya adalah sebagai berikut :

$$391,90 + 747,65 + 906,89 + 217,88 = 2264,32\text{ J m}^{-2}$$

B. Erodibilitas

Erodibilitas menunjukkan nilai kepekaan suatu jenis tanah terhadap daya penghancuran dan penghanyutan air hujan.

Faktor-faktor utama yang mempengaruhi kepekaan tanah yaitu : sifat tanah dan pengolahan tanah. Tanah dengan indeks erodibilitas tinggi tanah yang peka atau mudah tererosi, sedangkan tanah dengan indeks erodibilitas rendah selalu diartikan bahwa tanah itu resistan atau tahan terhadap erosi. Nilai erodibilitas tanah dapat dikatakan sangat beragam, dan banyak cara untuk mengukur erodibilitas tanah itu, di bawah ini dapat dikemukakan beberapa di antaranya.

- Bouyoucos (1935) dalam *"The Clay Ratio as Acriterion of Susceptibility of to Erosion"* telah menentukan erodibilitas tanah berdasarkan persamaan yang dikenal sebagai *Clay Ratio* :

$$E (\text{erodibilitas}) = \frac{\% \text{ Pasir} + \text{Debu}}{\% \text{ Liat}}$$

- Koran dan Jung (1957) dalam *"Uber Erodiebarkiet Eineger Boden"* menentukan erodibilitas tanah berdasarkan persamaan :

$$E = \frac{B}{St}$$

$$E = \text{Erodibility}, B = \text{Transportability}, St = \text{Stability}$$

Tekstur tanah merupakan penentu dalam Transportabilitas, sedangkan stabilitas tanah menjadi penentunya adalah tekstur tanah dan bahan organik tanah. Mengingat bahwa faktor B dan St belum ditentukan secara pasti maka Bermanakusumah (1975) telah menentukan kedua faktor tersebut dengan persamaan :

$$B = \frac{1}{k}(U + Fs)$$

$$St = (T + H Gs + As)$$

k = parameter untuk kandungan batu;

U = debu (%)

Fs = pasir halus (%)

T = liat (%)

H = humus (%)

Gs = pasir kasar (%)

As = stabilitas agregat (%)

Parameter k ditentukan berdasarkan persentase kandungan batu pada permukaan tanah, dengan menentukan kandungan batu pada setiap meter persegi permukaan tanah. Nilai k selanjutnya ditentukan sebagai berikut :

- Pada kandungan batu 1% - 5% nilai k $\longrightarrow$ 1
- Pada kandungan batu 6% - 15% nilai k $\longrightarrow$ 2
- Pada kandungan batu 16% - 40% nilai k $\longrightarrow$ 3
- Pada kandungan batu 40% nilai k $\longrightarrow$ 4

Berdasarkan rumus-rumus di atas telah mengemukakan tabel tentang erodibilitas beberapa macam tanah yang berasal dari bahan induk yang berbeda, jelasnya sebagai berikut :

Tabel 8. Erodibilitas Beberapa Macam Tanah yang Berasal dari Bahan Induk yang Berbeda

No	Macam Tanah	Transportabilitas (B)	Stabilitas (St)	Erodibilitas (E)
1	Tanah loss	51,50	105,34	0,49
2	Tanah pasir (<i>Buntsandstein</i>)	35,30	103,78	0,34
3	Tanah kapur (<i>Muschelkalk</i>)	31,80	114,43	0,28
4	Tanah liat (<i>Grauwackenschiefer</i>)	20,10	110,32	0,18

Sehingga diambil kesimpulan bahwa :

- a. Tanah-tanah yang banyak mengandung banyak debu (seperti tanah *loess*) adalah yang paling mudah tererosi, karena :
 - 1) Debu dengan ukuran 0,002-0,06 mm sangat mudah dihanyutkan air;
 - 2) Debu mudah jenuh air, sehingga kapasitas infiltrasinya cepat menurun;
 - 3) Kemantapan strukturnya sangat rendah, karena daya kohesi antar partikel sangat lemah.
- b. Tanah-tanah pasir lebih tahan (resistan) terhadap erosi dibandingkan dengan tanah debu. Hal ini disebabkan karena :
 - 1) Pasir mempunyai pori lebih besar yang banyak sekali sehingga kapasitas infiltrasinya tinggi;
 - 2) Pasir dengan ukuran yang lebih besar, lebih tahan terhadap penghanyutan. Akan tetapi kemantapan struktur pasir rendah, partikel yang satu dengan lainnya tidak terdapat daya yang besar.
- c. Tanah liat ternyata paling stabil dan paling tahan tererosi. Walaupun liat miskin akan pori-pori besar dalam hal ini kapasitas infiltrasinya rendah, namun di pihak lain liat mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan kedua macam tanah terdahulu (pasir dan debu), yaitu :
 - 1) Liat mempunyai kemantapan struktur yang tinggi;
 - 2) Kapasitas penampungan airnya tinggi,
- d. Tanah kapur lebih resisten terhadap erosi dibandingkan dengan debu dan pasir, tetapi kurang bila dibandingkan dengan tanah liat. Tanah kapur mempunyai struktur yang lebih mantap dari pada pasir.

Dalam penelitian El Swaify (1975) telah dapat menentukan bahwa nilai erodibilitas tanah di daerah tropis berkisar antara 10 - 75 ton/ha per hektar. Nilai erodibilitas tanah yang lebih lengkap telah diklasifikasi Dengler dkk (1975) sebagai berikut :

- | | |
|------------------|---------------------------------|
| a. Amat rendah | sekitar 0 - 14,6 ton/Ha |
| b. Rendah | sekitar 14,7- 29,2 ton/Ha |
| c. Sedang | sekitar 29,4- 46,8 ton/Ha |
| d. Agak tinggi | sekitar 47,0- 63,0 ton/Ha |
| e. Tinggi | sekitar 63,1- 80,6 ton/Ha |
| f. Sangat tinggi | sekitar > 80,6 ton/Ha |

Seperti yang telah dikemukakan Bermanakusumah, Wischmeier dkk. (1978) mengemukakan faktor-faktor yang sangat berkaitan dengan erodibilitas tanah dengan indeks yang mencakup sifat fisik tanah, yaitu: persentase kandungan debu dan pasir, struktur tanah dan permeabilitas tanah.

Tentang kandungan erodibilitas tanah ternyata bahwa meningkatnya kandungan bahan organik tanah menjadi berkurang erodibilitas. Telah kita ketahui bahwa bahan organik mempunyai peranan penting dalam mempertahankan kemantapan struktur tanah, tanah yang berstruktur butir memiliki erodibilitas lebih kecil dibandingkan dengan tanah pejal. Tanah yang permeabilitasnya rendah ternyata pula dengan adanya peningkatan air permukaan, relatif menjadi peka terhadap erosi.

1. Hubungan Tanah, Air dan Udara

Sutedjo (1991) menyatakan bahwa secara umum komposisi volume tanah atas bertekstur lempung berdebu yang optimal bagi pertumbuhan tanaman adalah seperti yang dituturkan oleh Brady (1974) dimana kurang lebih 50% berupa ruang pori (udara dan air), sedang fase padat menduduki volume sekitar 45% bahan mineral dan 5% bahan organik. Pada kelembaban optimum bagi pertumbuhan tanaman maka 50% ruang pori itu akan terbagi alas 25% udara dan 25% air. Udara dan air dalam tanah keadaannya sedemikian goyah, sehingga perbandingannya selalu berubah sesuai situasi dan kondisi.

Hillel (1982), untuk menentukan karakteristik kondisi fisik tanah, dapat mempertimbangkan hubungan antara volume dan massa tanah terhadap fase kandungan air, udara, dan padatan.

Untuk penentuannya beberapa istilah dan rumus yang dipergunakan meliputi :

(a) *Density of Solids* (berat jenis)

$\rho_s = M_s / V_s$ dimana M_s adalah massa tanah kering, dan V_s adalah volume tanah. Untuk tanah mineral rata rata berat jenisnya 2,65 gr/cm³, terutama pada tanah yang berpasir bercampur liat.

ρ_s meningkat bila banyak logam dan menurun bila banyak bahan organik. *Density* dapat juga dianggap sebagai *specific gravity*.

(b) *Dry Bulk Density*

$\rho_b = M_s / V_t = M_s / (V_s + V_a + V_w)$ dimana V_t adalah volume total, V_a adalah volume udara, V_w adalah volume air.

Bulk density adalah berat jenis volume dimana tanah tidak terganggu (sesuai-kondisi di lapangan)

Nilai f^b umumnya lebih kecil dari f^s yakni berkisar 1,3 - 1,35 gr/cm³. Untuk tanah berpasir >1,6 dan tanah berlempung dan liat < 1,1 gr/cm³.

(c) *Porosity f*

$$F = V_f / V_t = (V_a + V_w) / (V_s + V_a + V_w) \\ = (V_t - V_s) / V_t \text{ dimana } V_s = M_s / f^s \text{ atau } = 1 - (f^b / f^s) \text{ dimana nilai } f^s = 2,55 \text{ gr/cm}^3.$$

Porositas adalah suatu indek relativ volume pori tanah. Porositas merupakan nilai persentase bagian suatu material yang berupa pori-pori terhadap volume totalnya.

(d) *Soil Wetness*

Soil wetness, atau kandungan air dalam tanah yang dinyatakan berdasarkan volume atau massa. Pada literatur lain ini identik dengan lembab tanah (*soil-moisture*) yakni :

(1) *Mass wetness W* (kandungan air berdasarkan berat/ massa)

$$W = M_w / M_s = (M_t - M_s) / M_s.$$

Mass Wetness juga disebut *gravimetric water content*. Pada tanah mineral jenuh nilainya dapat berkisar 25-60%. tergantung dengan *bulk density*nya.

(2) *Volume wetness* (kandungan air berdasarkan volume)

$$= v_w / v_t = v_w / (V_s + V_f).$$

Nilai *volume wetness (volumetric water content)* pada tanah jenuh dapat berkisar 40 - 60%.

(e) *Degree of Saturation* (tingkat penenuhan) S.

$$S = V_w / V_f - V_w / (V_a + V_w) \text{ atau } S = V_w / (V_t - V_s) \text{ dimana volume}$$

$$\text{Solid, } V_s = \frac{M_s}{f^s}$$

Indek ini menyatakan volume air yang ada pada tanah terhadap volume air. Nilainya dapat berkisar 0-100 %.

(f) *Air - Filled Porosity (Fraction Air Content) fa*.

$$fa = V_a / V_t = V_a / (V_s + V_a + V_w)$$

Rumus ini untuk mengukur kandungan udara pada tanah dalam menentukan kriteria erosi atau sirkulasi udara dalam tanah. Indek ini mempunyai hubungan negativ terhadap tingkat kejenuhan (*degree of saturation*) dimana $fa = f - s$.

2. Karakteristik dan Pergerakan Air Tanah

Dapat ditegaskan bahwa tanpa adanya air yang berada dalam pori tanah, suatu jenis tanaman apapun tidak mungkin dapat tumbuh dan berkembang, demikian pula semua makhluk hidup di dalam tanah yang kesemuanya akan mempengaruhi tekstur dan struktur tanah yang pada akhirnya mempengaruhi infiltrasi, *run off* dan erosi.

Keberadaan air dalam tanah mempunyai tingkat tegangan yang berbeda, berdasarkan konsep kapilaritas, Briggs, Widtsoe dan Mclaughlin menyusun deret kemampuan tanah menyerap molekul air dari yang terkuat hingga yang terlemah, deret ini dikenal sebagai "Klasifikasi air tanah secara fisik" sebagai berikut:

a) Air Higroskopis

Air terjerap yang berasal dari uap air di atmosfer sebagai akibat daya tarik dengan permukaan partikel tanah. Air terjerap ini merupakan selaput tipis yang kuat pada permukaan bumi / tanah.

b) Air Kapiler

Terikat oleh daya tegangan muka berupa selaput bersambungan di sekitar partikel dan di dalam ruang atau pori kapiler atau dengan lain perkataan merupakan air yang mengisi ruang pori-pori tanah, yang tertahan di tempat itu akibat adanya daya tegangan muka pori kapiler yang lebih besar dari daya berat.

c) Air Gravitasi

Air yang tidak terikat oleh tanah, air ini bergerak turun dengan bebas akibat pengaruh daya berat bumi.

Menurut Baver (1956) besarnya daya ikat air pada keadaan di tanah akan tergantung dari jumlah dan ukuran ruang kapiler. Mengenai kelembaban tanah dapat digambarkan sebagai kandungan air tanah dalam bentuk-bentuk air higroskopis, air kapiler dan air gravitasi dalam sistem tanah, yang dapat berasal dari : air banjir, gerakan lateral atau pun dari permukaan.

Sifat kelembaban tanah yang penting dan kaitannya sangat erat dengan pertumbuhan tanaman adalah kapasitas lapang dan titik layu.

- a) Kapasitas lapang (*field capacity / specific retention*) adalah besarnya kandungan air maksimum yang dapat ditahan oleh tanah terhadap gaya tarik gravitasi. Tanah mencapai kapasitas lapang, apabila pori mikro dari *unsaturated area* berisi sejumlah air maksimum yang relatif dapat ditahan diantara partikel-partikel oleh gaya kapiler terhadap gaya gravitasi).

Nilai kapasitas lapang bervariasi antara 1 - 10 % untuk kerikil, 5 - 20 % (pasir) dan 25 - 50 (clay) (Martha, dkk).

Menurut Sutedjo (1991) kapasitas lapang yaitu sesudah tanah jenuh air dan kelebihan air didrainasekan, yang terjadi pada tekanan 50 milibar.

b) Titik layu (*wilting point*)

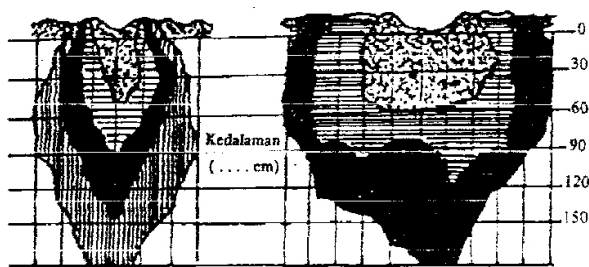
Yaitu keadaan kandungan air (*soil moisture content*) dimana tanahnya tidak memungkinkan lagi tanaman menyerap air, sehingga tanaman keadaan layu permanen atau kekeringan dan mungkin pula akan mati kalau tidak mendapat tambahan air.

Gerakan air dalam tubuh tanah akan mempengaruhi keberadaan air di suatu tempat. Menurut King, gerak kapiler lewat tanah basah akan lebih cepat dari pada tanah kering, demikian pula menurut Harris dan Turpin bahwa gerak kapiler ke bawah lebih cepat dari pada yang ke atas atau ke samping. Selanjutnya perhatikan gambar 7, yang terdapat dalam "*The Nature and Properties of Soils*" Brady (1974) yang menjelaskan tentang laju gerak air ke dalam tanah lempung berpasir dan lempung berdebu (Sutedjo, 1991)

Gerakan air dalam tubuh tanah selain mempengaruhi keberadaan air di suatu tempat, juga erat kaitannya dengan jumlah air yang ada dan sifat tanah (aliran jenuh, aliran tidak jenuh, aliran uap).

Lempung Berpasir

Lempung Berdebu



Gambar 4. Perbandingan Laju Gerak Air ke Dalam Tanah Lempung Berpasir dan Lempung Berdebu, Laju Gerak di Tanah Berpasir Jauh Lebih Cepat, Terutama ke Arah Bawah

Keterangan : 0- 6 inci = 0-5 cm, yang merupakan jarak (.....inci dari pusat yang dibasahi).

Pada Lempung Berpasir :	15 menit	40 menit,
	1 jam,	24 jam,
Pada Lempung Berdebu :	4 jam,	24 jam,
	48 jam,	

a) Aliran Jenuh

Aliran air ini akan berlangsung pada keadaan seluruh pori-pori tanah penuh terisi air, berlangsungnya terutama di bawah permukaan air tanah, dengan gerakannya dapat berupa vertikal, turun, lateral di atas suatu lapisan kedap air, kecepatan alirannya ditentukan berdasarkan konduktivitas hidrolik.

Air yang masuk dari permukaan tanah, baik yang berasal dari hujan maupun irigasi, akan menembus tanah, mula-mula mendesak udara pori makro, kemudian pori mikro.

b) Aliran Tidak Jenuh

Gerakan air di sini berlangsung dari pori yang satu ke pori yang lain melalui permukaan butir tanah, jadi tidak seluruh pori-pori mikro tanah terisi air.

Pergerakan akibat gaya kohesi dan adhesi, sehingga terjadi gerakan kapiler dari air tanah. Di tanah yang baru tersiram air hujan, aliran akan berlangsung ke bawah akibat daya berat, akan tetapi setelah mencapai kapasitas lapang, gerakannya itu dapat berupa gerakan lateral atau ke atas, hal ini dikarenakan terjadinya pengeringan di daerah atas atau dikarenakan adanya gerak penyerapan oleh akar tanaman. Biasanya aliran tidak jenuh ini berperan dalam proses pencucian tanah dan berpengaruh terhadap keseimbangan kelembaban tanah.

c) Aliran uap

Merupakan gerakan air dalam tahapan uap yang berlangsung dalam tanah, dari satu tempat ke tempat lain atau dari tanah ke atmosfer. Kecepatan gerakan ini dapat ditentukan dengan pengukuran lembab relatif, tingkat temperatur, ukuran dan kelangsungan pori tanah serta jumlah keberadaan air dalam tanah.

Gerakan-gerakan air yang telah dikemukakan yaitu akan saling mempengaruhi bentuk keadaan air dalam tanah atau lebih jelas lagi gerakan-gerakan tersebut akan mengakibatkan terjadinya keseimbangan antara air higroskopis, air kapilar dan air gravitasi dalam tanah.

Gerakan-gerakan air dalam tubuh tanah tentunya akan memungkinkan hilangnya sejumlah air dari sistem tanah. Kehilangan mana dapat melalui atau selama berlangsungnya drainase dan evapotranspirasi.

Di tempat-tempat yang basah dan jenuh air berlangsung kehilangan melalui drainase, sedangkan kehilangan melalui tanaman

dan permukaan tanah (evapotranspirasi) karena pengaruh teriknya sinar matahari, temperatur udara, keadaan awan, angin, serta kelembaban udara.

Dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang tumbuh pada sebidang tanah akan menyerap sejumlah air yang terdapat dalam tanah melalui sistem perakarannya, yang kemudian melalui proses transpirasi akan melepaskan air ke udara (atmosfer) dalam bentuk uap air. Persaingan antara permukaan tanah yang terbuka dengan atmosfer yang tidak jenuh uap air memungkinkan berlangsung penguapan air ditempat itu (permukaan tanah tersebut). Proses penguapan air ini dikendalikan oleh keadaan atmosfer dan sifat tanah yang erat kaitannya dengan ketersediaan air dalam tanah. Akibat penguapan air ini, tanah permukaan akan menjadi kering, sedangkan uap air yang terbentuk segera akan menyebar (berdifusi) dalam udara dengan dorongan arus udara yang terbentuk pada lapisan bawah sekitar permukaan atau akan terbawa angin dan kemudian bersatu di udara. Jadi suplai air yang terhenti dan tubuh tanah ke tanah permukaan akan semakin mengeringkan tanah permukaan tadi dan terwujudnya lapisan kering.

Dari uraian-uraian di atas maka jelaslah bahwa :

- a) Pada tanah yang cukup mengandung air (terutama pada kelembaban tanah permukaan), kehilangan air dapat berupa evaporasi, air tanah diubah menjadi uap air yang selanjutnya segera berdifusi ke dalam sistem uap air atmosfer.
- b) Pada tanah yang kering, bentuk kehilangan air dalam bentuk uap air itu akan lebih dipengaruhi oleh daya dorong dalam tanah, sehingga uap air yang terbentuk akan berdifusi ke atmosfer, melalui gerakan udara dalam pori-pori.

Dengan demikian maka jelaslah bahwa berlangsungnya penguapan air tanah (baik melalui tanah maupun tanaman) akan sangat mempengaruhi kelembaban tanah, perubahan kegiatan jasad reniknya. Karena itu pengamanan air dalam tanah perlu diatur dengan sebaik-baiknya, terutama dalam pengendalian penguapan air tanah. Pencegahan penguapan air tanah yang berlebihan dapat dicegah dengan:

- a. Menggemburkan permukaan tanah,
- b. Tidak mengadakan penyiangan bilamana tanahnya masih basah,
- c. Menutup tanah dengan mulsa,
- d. Penanaman tanaman sebagai penahan angin di perbatasan lahan, di tengah lahan dan sebagainya.

Selanjutnya dalam usaha yang memungkinkan tersedianya air lebih banyak bagi tanaman, perlu dilakukan perlakuan-perlakuan sebagai berikut :

- a. Melakukan sistem pengolahan tanah secara minimal, yaitu disekitar daerah permukaan tanaman utama, misalnya dengan menggemburkan tanah dalam rangka mengurangi penguapan air.
- b. Mengendalikan pertumbuhan tanaman pengganggu (gulma), untuk menghindari persaingan perebutan air tanah.
- c. Melakukan penutupan permukaan tanah disekitar tanaman dengan sisa-sisa tanaman (pemulsaan) untuk menekan laju penguapan air tanah dan menambah bahan organik.

Menurut Sutedjo (1991), bahwa dengan tekstur tanah kita akan membahas dan mengemukakan tentang bahan mineral seperti pasir, debu dan hal dalam susunan tanah. Pasir, debu dan liat adalah partikel-partikel tanah (mineral) yang dapat digolongkan berdasarkan atas ukuran, bentuk, kerapatan dan komposisi kimia. Partikel-partikel tanah yang dikelompokkan berdasarkan ukuran tertentu disebut : fraksi (partikel) tanah, fraksi tanah ini dapat kasar atau pun halus. Menurut sistem Mohr fraksi tanah pasir mempunyai ukuran 2.00 - 0,05 mm, debu 0,05 - 0,005 mm, hal >0,005.

Penetapan (klasifikasi) tekstur tanah dapat secara lapangan (kualitatif) dan secara laboratotik (kuantitatif) sebagai kerikut :

- a. Penetapan secara lapangan

Contoh tanah yang agak basah diletakkan di antara telunjuk dan ibu jari, kemudian tekankan ibu jari kepada telunjuk, gesek-gesekan dan apabila melincir terasa sangat liat dan melekat, tandanya kadar liat (tanah liat) banyak. Apabila melekat, tandanya kadar liat (tanah liat) banyak. Apabila terasa kasar, tak dapat dibentuk cincin menandakan kelas tekstur pasir. Sedang debu akan terasa licin seperti sabun basah, dan bila mengering terasa seperti tepung (*talk*). Dan apabila mengeras, agak sukar dibelah / dipatahkan ini menandakan kadar debu dengan kadar liat yang banyak.

- b. Penetapan secara laboratorik

Dikenal sebagai analisa mekanik, di sini sejumlah contoh tanah dipecah-pecah (ditumbuk) sampai halus, untuk memisahkan pasir dengan fraksi lain dapat dipergunakan saringan. Persentase berat (kadar) debu dan hal dapat pula diperoleh dengan perlakuan fisika-kimia serta berdasarkan atas cepatnya pengendapan dalam suspensi tanahnya sebagai berikut :

- (1) Tanah dari berbagai partikel dimasukkan ke dalam air akan tampak turun (mulai melakukan pengendapan), kecepatan jatuhnya dalam pengendapan itu secara kasar berbanding lurus dengan ukuran.
- (2) Dengan pemipetan pada waktu-waktu dan kedalaman-kedalaman tertentu atau dapat juga dengan mengukur berat jenis suspensi (pada waktu-waktu tertentu) dapatlah dilihat % berat (kadarnya), adapun kelas teksturnya dapat dicari antara lain dengan memanfaatkan Segi Tiga Tekstur dengan menarik garis ketengah berdasarkan persentase masing-masing fraksi sehingga bertemu pada satu titik / lokasi. Misal persentasi pasir 30%, liat 30% dan debu 40% bila ditarik akan bertemu di kelas tekstur *Clay Loam*.

Dari hasil penetapan (klasifikasi) tekstur tanah secara lapangan dan secara laboratorik selanjutnya kita akan mengetahui tentang sifat partikel tanah (dalam hal ini perlu dijelaskan bahwa batu dan kerikil tidak termasuk tanah, misalnya pasir berkerikil).

Kalau kita memperhatikan dapat diartikan bahwa dalam alam terbuka tidak ada tanah yang mengandung fraksi pasir tulen atau fraksi liat belaka, akan tetapi ketiga fraksi tersebut akan bercampur-baur dalam satu massa, yang nantinya dapat kita sebut sebagai tanah. Perbandingan antara ketiga fraksi itu menentukan jenis pokok, yaitu :

- a. Tanah pasir bilamana fraksi pasirnya sekita 85%;
- b. Tanah lempung-liat berpasir, bilamana fraksi liatnya sekitar 7-27%, debu 28- 50% dan pasir sekitar 52%.
- c. Tanah berdebu, bilamana fraksi debunya sekitar 80°% sedang fraksi liatnya kurang dari 12%.
- d. Tanah liat dapat dikatakan bahwa perbandingan antara ketiga fraksinya hampir seimbang.
- e. Tanah lempung (*loam*), menurut Hillel (1982), kelas tanah ini terletak di pusat segi tiga tekstur, yang terdiri dari percampuran partikel kasar dan halus yang seimbang, sehingga tanah ini mempunyai sifat dari tiga fraksi tersebut. Dengan demikian lempung sering dipertimbangkan sebagai media pertumbuhan yang baik, karena kemampuannya untuk menyimpan air dan bahan makanan serta mempunyai drainase dan menahan erosi yang baik.

Seperti diketahui bahwa penetapan tekstur secara lapangan hanya menghasilkan nilai kualitatif yang keakuratannya kurang, akan tetapi bagi surveyor yang telah berpengalaman dan terampil nilai tersebut

cukup akurat. Untuk menggunakan nilai lapangan (kualitatif) agar dapat bernilai kuantitatif dengan menggunakan segi tiga tekstur, maka terlebih dahulu nilai kualitatif tersebut dikonversikan ke nilai kuantitatif berdasarkan katagori sebagai berikut :

Nilai Kualitatif	Nilai Kuantitatif (%)
Banyak	> 60
Sedang	40 - 60
Sedikit	< 40

Bila di lapangan secara kualitatif telah ditentukan, misalnya nilai kandungan pasir agak banyak, maka bila dilihat pada daftar katagori di atas agak banyak nilai kuantitatifnya antara 60 - 100%, jadi diperkirakan nilainya 70%, berarti sisanya masih 30% adalah kandungan debu dan liat. Bila keduanya dirasakan mempunyai kadar yang sama, maka masing-masing memiliki nilai 150. Akan tetapi bila kadar debu terasa lebih banyak maka nilai debu dapat ditentukan 20% dan sisanya untuk hal 10% yang seterusnya dapat dicari di segi tiga tekstur yakni diperoleh *Sandy loam* (pasir berlempung).

Masalah tekstur dalam hubungannya dengan erosi telah diteliti oleh Bouyoucos (1953) yang menyatakan bahwa tanah yang mempunyai kadar liat tinggi umumnya lebih tahan terhadap erosi daripada tanah-tanah yang berkadar liat rendah, namun partikel halus seperti debu dan pasir halus adalah masih kurang tahan terhadap erosi. Seperti yang diungkapkan oleh Richter dan Negendak (1979) bahwa tanah yang terkomposisi 40 - 60° debu adalah sangat mudah tererosi, Evans (1980) menyatakan bahwa tanah yang mengandung liat 9 - 30% mudah tererosi, sebaliknya tanah-tanah yang mengandung liat di atas 35% umumnya tahan terhadap erosi, karena dapat membentuk *aggregat* yang mantap.

Peranan kandungan hal dianggap sangat penting sebagai indikator erodibilitas, sebab partikel liat dapat berkombinasi dengan bahan organik dalam menyusun agregat atau bungkahan tanah, dan sebagai penentu kesetabilan dan ketahanan tanah.

3. Struktur Tanah

Struktur tanah adalah penyusunan partikel-partikel membentuk agregat tanah. dalam penyusunan ini butir-butir primer (pasir, debu dan liat) akan menjadi butir sekunder (*aggregat* atau *clod*).

Klasifikasi struktur tanah sangat berkaitan dengan klasifikasi lapangan yang digunakan bagi penelaahan morfologi tanah. Komponennya meliputi :

- a) Tipe struktur didasarkan atas bentuk dan susunan *aggregat*.
- b) Kelas struktur berdasarkan ukuran, dan
- c) Derajat struktur berdasarkan kemantapan atau kekuatan *aggregat*.

a. Tipe dan Kelas Struktur Tanah

Tentang hal ini kita mengenal beberapa tipe dan ukuran atau kelas struktur tanah meliputi :

- 1) *Spherical* : *Aggregat* ini relatif bundar dan tidak begitu besar. Unit dari klasifikasi ini disebut :
 - Granular yang porous atau remah,
 - Crumb tidak berbentuk.

Ukurannya :

Sangat halus	: kurang dari 2 mm
halus	: 1 mm - 2 mm
sedang	: 2 mm - 5 mm
kasar	: 5 mm - 10 mm
sangat kasar	: lebih dari 10 mm

- 2) *Platy* : berlapis secara horizontal, tipis dan berbentuk lempengan. Biasanya terbentuk dari endapan liat.

Ukuran :

- Sangat tipis, tebal	: kurang dari 1 mm
- Tipis, tebal	: 1 mm - 2 mm
- Sedang, tebal	: 2 mm - 5 mm
- Kasar, tebal	: 5 mm - 10 mm
- Sangat tebal	: lebih dari 10 mm

- 3) *Blocky* : Relatif berbentuk segi seperti balok.
 - Angular sudutnya relatif siku tajam,
 - Sub Angular sudutnya agak tumpul ukuran :

- Sangat halus	: kurang dari 5 mm
- Halus	: 5 mm - 10 mm
- Sedang	: 10 mm - 20 mm
- Kasar	: 20 mm - 50 mm
- Sangat kasar	: lebih dari 50 mm

4) Prismatic atau *Columnar* :

Adalah kecendrungan berbentuk tiang dengan beberapa segi disebut Tiang Prismatic, dan yang ujungnya membulat disebut Tiang *Columnar*.

Ukuran :

- Sangat halus : kurang dari 10 mm
- Halus : 10 mm - 20 mm
- Sedang : 20 mm - 50 mm
- Kasar : 50 mm - 100 mm
- Sangat kasar : lebih dari 100 mm

b. Derajat Struktur Tanah

- 1) Yang tidak beragregat, yaitu pejal (jika berkoherensi dan butir tunggal), lepas-lepas (jika tidak berkoherensi).
- 2) Yang derajat strukturnya lemah, jika tersentuh akan mudah hancur, derajatnya dapat dibedakan lagi menjadi : sangat lemah dan agak lemah.
- 3) Yang derajat strukturnya cukup, dalam hal ini agregatnya sudah jelas terbentuk dan masih dapat dipecah-pecah
- 4) Yang derajat strukturnya kokoh, agregatnya mantap dan jika dipecahkan agak liat (terasa ada ketahanannya), derajatnya dapat dibedakan lagi menjadi : yang sangat kokoh dan yang cukup kokoh.

Hillel (1982) menyatakan bahwa secara umum struktur tanah didasarkan atas kemantapan agregat dikategorikan sebagai berikut :

- a. *Single Grained* : adalah bila partikel-partikel tanah tidak melekat antara satu dan lainnya. Atau tendensi untuk melekat sedikit sekali.
- b. *Massive* : adalah tanah yang terbentuk dari butir-butir yang sangat rapat, penuh dan sesak biasanya seperti liat kering.
- c. *Aggregated* : adalah kombinasi dari kedua katagori struktur tersebut di atas.

4. Bahan Organik Tanah (Organic Matter)

Kandungan bahan organik dalam tanah-tanah mineral pada umumnya hanya menunjukkan kadar persentase yang sedikit saja, namun demikian peranannya tetap besar dalam mempengaruhi sifat fisika dan kimiawi tanah. Menurut Brady, sifat fisika yang dipengaruhi antara lain : kemantapan agregat tanah, dan selain

itu sebagai penyediaan unsur-unsur hara tanah, tenaga maupun komponen pembentuk tubuh jasad dalam tanah.

Sumber utama bahan organik tanah ialah jaringan tanaman, baik berupa serasah atau sisa-sisa tanaman, yang setiap tahunnya tersedia dalam jumlah yang besar sekali. Telah dikemukakan terdahulu, batang dan akar tanaman misalnya akan terombak oleh jasad-jasad renik dan akhirnya akan menjadi komponen tanah, dengan demikian maka jaringan tanaman tingkat tinggi merupakan makanan bagi berbagai jasad tanah. Sedangkan hewan pemakan tanaman, kotorannya maupun hewan yang telah mati (bangkai) akan mengalami proses perombakan yang sama seperti di atas, yang akhirnya menjadi bahan organik tanah pula.

Dengan demikian secara ringkasnya dapat ditegaskan bahwa bahan organik tanah merupakan hasil perombakan dan penyusunan yang dilakukan oleh jasad renik tanah, senyawa penyusunan adalah tidak jauh berbeda dari senyawa aslinya, yang tentunya dalam hal ini ada berbagai tambahan seperti glukosamin (hasil metabolisme jasad renik).

Pengelompokan bahan organik tanah berdasarkan kimiawi tanah dapat meliputi senyawa karbohidrat, protein dan lignin, serta sejumlah senyawa lainnya seperti minyak, lilin dan lain-lain.

Senyawa karbohidrat meliputi gula dan zat tepung, akan tetapi yang lebih banyak terdiri dari polisakarida yang tersusun atas gula hektosa, gula pentosa dan asam uronik yang kesemuanya ini dapat mudah dan cepat dirombak oleh jasad renik tanah. Polisakarida lainnya yang sering pula dijumpai adalah Kitin.

Kenyataannya kadar bahan organik dalam tanah pada suatu tempat dan tempat lainnya adalah berlainan atau cukup beragam. Pada tanah gambut, bahan keringnya yang umum adalah bahan organik sedangkan pada tanah mineral kadar bahan organik itu adalah sekitar 3% - 5% dari berat keringnya, jadi demikian sedikit jumlah komposisinya.

Bentuk hasil perombakan bahan organik (limbah nabati) di dalam tanah yang relatif tahan terhadap pelapukan adalah humus. Bahan ini mempunyai kapasitas pengikatan hara maupun air yang tinggi, melampaui kapasitas liat, menurut Brady (1974), liat silikat, humus dan, jasad hidup bersama-sama dengan air penghanyut menjadi komponen utama apabila karakteristik tanah berkembang, komponen-komponen demikian menentukan jenis dan defcensiasi horizon. Pembentukan humus itu merupakan proses biokimia majemuk, dimana jaringan yang terdapat di dalam tanah mengalami panas dan lembab dan dalam keadaan demikian diserang dengan hebat oleh

bermacam-macam jasad renik, dan selanjutnya melakukan tahapan terakhir dari prosesnya akan berubah merupakan senyawa sederhana yang melarut. Humus itu memiliki kekhususan kolohidal dan amorf, memiliki permukaan luas berkapasitas absorpsi (serapan) lebih besar dibanding dengan liat. Dalam hal ini dapat dijelaskan bahwa :

- a. Kapasitas penukaran kation liat silikat yang umum adalah berkisar antara 8-150 me/ 100 gram.
- b. Humus yang telah berkembang dengan sempurna adalah 150 - 300 me/100

Dapat pula dijelaskan bahwa humus akan menyerap air dari atmosfer yang jenuh setara dengan 80% - 90% beratnya, sedangkan hal hanya sekitar 15% - 20% saja, humus berplastisitas dan berkoheisi rendah. Gejala-gejala yang demikian bermanfaat sekali bagi pengusahaan tanah pertanian, struktur tanahnya menjadi baik, mudah dibajak dan lain-lain. Menurut Brady (1974) sifat fisik lain yang terpengaruhi humus yaitu warna tanah menjadi agak kehitam-hitaman, yang juga tergantung dari keadaan iklim.

Lignin, polyuranida dan beberapa senyawa termodifikasikan, yang menurut Brady berperan sebagai misel kompleks, yang kenyataannya dalam keadaan alam biasanya memiliki jumlah yang besar bermuatan listrik negatif.

- a. Liat silikat terhablur dan berbahan dasar Si, O, Al, Fe.
- b. Misal humus berbahan dasar C, H, dan O dengan tambahan pokok N, S, P serta unsur-unsur lainnya.

Tentang pelapukan bahan organik dapat dikemukakan bahwa bahan organik dengan nisbah C/N rendah nyatanya akan terlapuk dengan mudah dan cepat, sehingga baik untuk pupuk. Kandungan oksigen dalam tanah akan sangat berpengaruh baik pada kegiatan jasad renik maupun terhadap keadaan bahan organik dalam tanah. Pengaruh penurunan kandungan oksigen dalam tanah adalah sebagai berikut :

- a. Akan mengurangi kegiatan jasad renik tanah sehingga penguraian bahan organik tidak berlangsung dengan baik.
- b. Pelapukan yang berlangsung hanya akan membebaskan asam-asam organik, karbon dioksida, gas hidrogen, metana, senyawa sulfida dan senyawa-senyawa lainnya.

Jasad renik yang kurang aktif ternyata hanya akan memperbesar pergolakan bahan organik, sehingga unsur hara tertentu menjadi tidak tersedia bagi pertumbuhan tanaman. Dengan demikian jelaslah

peranan oksigen dalam tanah dalam hal pelapukan bahan-bahan organik, oksigen yang cukup sangat diperlukan, oleh karena itu tanah perlu diolah dengan baik agar dengan demikian perbaikan tata udara tanah dapat meningkatkan kandungan oksigen dalam tanah.

Sebaliknya, bahan organik dengan nisbah C/N tinggi akan lambat terlapuk, sehingga dapat untuk menghalangi erosi tanah. Agar bahan organik dengan nisbah demikian dapat cepat terlapuk, maka perlu usaha penambahan nitrogen tanah yaitu dengan memberikan sejumlah bahan organik yang cepat terlapuk atau dapat juga dibantu dengan memberikan pupuk nikrogen buatan.

Reaksi-reaksi tanah yang berlangsung akan menentukan jasad renik, dalam hal ini kegiatan enzim yang terkandung akan sangat terpengaruh oleh reaksi optimal bagi kegiatan jasad renik. Kegiatan jasad renik pada tanah-tanah yang terlalu masam ternyata dapat ditingkatkan pula dengan pemberian sejumlah bahan kapur ke dalamnya. Sistem kerja enzim yang sangat berkaitan dengan kegiatan jasad renik akan demikian terpengaruh oleh tinggi rendahnya temperatur, dalam hal ini temperatur tanah yang cukup dapat membatu mempercepat perombakan bahan organik.

Pada tanah-tanah yang bertekstur halus biasanya kegiatan jasad renik dalam perombakan bahan organik akan mengalami kesulitan dikarenakan tanah-tanah yang bertekstur demikian berkemampuan menimbun bahan-bahan organik lebih tinggi yang kemudian terjepap pada kisi-kisi mineral, dan dalam keadaan tersebut jasad renik akan sulit merombaknya.

Telah dijelaskan terdahulu, bahwa pelapukan atau perambakan bahan organik itu akan membebaskan sejumlah senyawa penyusunannya, terutama mengenai kandungan C, N, S, dan P. Dalam hubungan ini sering terjadi di tanah-tanah pertanian, senyawa-senyawa karbon yang ada tidak semua teroksidasi secara sekaligus. Sebagian besar dari padanya diasimilasi dalam tubuh jasad renik, Dalam hal ini misalnya perombakan sekitar 100 gr sellulosa pada kadar C 40% akan membebaskan sekitar 20 gr karbon (dalam bentuk C 42%, sedangkan sisanya digunakan sebagai sintesa jasad renik.

- Dalam hal perombakan karbohidrat akan dipengaruhi sifat Karbohidrat, jasad renik dan kandungan oksigen tanah.
- Perombakan Glukosa oleh jamur yang dalam hal ini oksigennya cukup, akan menghasilkan alkohol, asam butiran, asam laktat. Sedangkan dalam keadaan oksigen kurang selama berlangsungnya perombakan, glukosa tersebut berubah menjadi asam fumarat.

- Beberapa jenis jasad renik seperti *Aspergillus oryzae*, *Bacillus amylovorus*, *Bacillus mesentericus* dan *bacillus macerans* dalam kegiatan perombakan ini mampu merombak pati menjadi gula Glukosa.

Tentang gula glukosa tersebut, selulosa yang merupakan polimernya banyak ditemui pada bahan kayu, cabang ranting dan daun-daun tanaman tua, jerami serta tanaman pengganggu (Gulma). Selulosa yang resisten terhadap berbagai oksidator dan hanya dapat dihidrolisa dengan asam pekat. Kenyataan dapat pula dirombak oleh jasad renik seperti *Spirochaeta cytophaga*, *Trichoderma panicillium*, *Mycogene nigra*, *Stachybotris* dan lain-lain. Dalam proses perombakan selulosa yang demikian ditentukan oleh kelembaban tanah, tata udara tanah, temperatur tanah, tersedianya Nitrogen yang cukup, serta unsur hara lainnya.

- Kelembaban tanah yang terlalu tinggi sangat mendorong perkembangan bakteri anaerob yang membahayakan pertumbuhan jamur dan *actinomyces*, pada hal kedua bakteri ini sangat berperan dalam perombakan selulosa.
- Beberapa jasad renik tanah menghasilkan enzim ekstraselular selobiase yang dapat memecahkan menjadi selobiosa. Selobiosa ini dinyatakan dengan enzim beta- glukosidae dapat diubah menjadi glukosa.

Tentang komposisi unsur-unsur pada jaringan tanaman tua dan bahan organik tanah dapat dikemukakan sebagai berikut :

Tabel 9. Komposisi Unsur-unsur pada Jaringan Tanaman Tua dan Bahan Organik Tanah

Unsur-Unsur	Pada Jaringan Tanaman Tua	Pada Bahan Organik Tanah
Sellulose	20 - 50	2 - 10
Hemisellulose	10 - 30	0 - 2
Lignin	10 - 30	35 - 50
Protein	1 - 15	28 - 35
Lamak dan Senyawa lain	1 - 8	1 - 8

Bahan organik yang terdapat di permukaan tanah dapat dibagi atas tiga bagian / lapisan yakni :

- " L " = *Litter layer*, yaitu lapisan serasah dimana material kelihatan masih utuh dan segar.
- " F " = *Duff*, dimana material sebagian telah hancur.
- " H " = *Leaf-mold* (Humus), dimana material telah hancur dan tidak terlihat lagi bentuk aslinya.

Untuk mendapatkan jumlah bahan organik segar, di lapangan dibuat perangkap serasah (*litter trap*) yang terbuat dari kasa dengan ukuran 1 x 1 m yang digantung kira-kira 1 m di atas tanah. Pada periode tertentu serasah yang terperangkap diambil dan ditimbang baik dalam keadaan masih segar maupun setelah kering oven. Untuk mengetahui lajunya pembusukan adalah dengan kantong kasa 15 x 15 cm yang berisi serasah diletakkan kembali di permukaan tanah sedemikian rupa sehingga proses penghancuran dapat terjadi. Dengan periode tertentu kantong tersebut diambil dan ditimbang kemudian dibandingkan dengan berat semula sebelum diletakkan di lantai hutan kembali.

5. Permeabilitas

Permeabilitas adalah kemampuan tanah untuk melewatkan atau meresapkan air ke dalam tanah. Sedang menurut Martha W. (1982) Permeabilitas adalah suatu ukuran untuk menyatakan suatu sifat "kemudahan" tanah dalam memutuskan cairan fluida melalui pori-pori yang bersambungan tanpa merusak partikel-partikelnya. Pergerakan air semacam ini dikenal dengan istilah infiltrasi dan perkolasi.

a. Infiltrasi

Infiltrasi adalah proses pergerakan cairan (air) yang meresap dari atas permukaan ke dalam tanah. Kebalikan dari infiltrasi adalah rembesan yang keluar sebagai sumber air ke sungai, laut atau ke danau (*Lee page*). Bila hujan jatuh ke penutupan atau permukaan tanah, maka tanah akan basah yang selanjutnya menembus permukaan ke dalam tanah, bila kondisi tanah sarang dimana pori-pori yang dapat dilewati cairan dengan gaya berat (gravitasi) dan terus berperkolasi, maka air dapat sampai ke permukaan air tanah.

1) Kapasitas Infiltrasi (Infiltration Capacity)

Menurut Sutedjo (1991) kapasitas daya infiltrasi yaitu kemampuan tanah dalam merembeskan banyaknya air ke dalam tanah secara vertikal dengan laju air yang paling optimal (*Infiltration Rate maximum*) dimana air dapat diserap oleh suatu tanah tertentu. Lee

(1950) menyatakan bahwa kecepatan maximum ini dapat terlihat pada awal hujan besar yang kemudian nilainya makin lama makin kecil mendekati kecepatan infiltrasi konstan dan rendah pada spat tanah telah menjadi jenuh (setelah lebih kurang 1 atau 2 jam terjadi hujan).

2) Kecepatan Infiltrasi (Infiltration Rate)

Kecepatan infiltrasi adalah laju infiltrasi yang terjadi sesungguhnya. Kapasitas infiltrasi suatu tanah cenderung berbeda dengan lainnya ini dipengaruhi oleh sifat-sifat fisik dari derajat kemantapannya, kandungan air dan permeabilitas lapisan-lapisan bawah permukaan, kandungan nisbi air dan iklim mikro tanah. Namun kapasitas infiltrasi ini bersifat dinamis yang dapat berubah-ubah secara nyata selama kejadian hujan tertentu, sebagai reaksi terhadap perubahan-perubahan temperatur air tanah, suhu dan penutupan vegetasi maupun sebab akibat kegiatan-kegiatan manusia dan hewan di atasnya. Kapasitas-kapasitas infiltrasi rata-rata berkorelasi dengan sifat-sifat fisik tanah korelasi tanah adalah positif terhadap porositas tanah dan kandungan bahan organik dan negatif terhadap kandungan liat dan berat isi tanah. Beberapa kapasitas infiltrasi khas untuk berbagai tekstur tanah disajikan pada tabel berikut :

Tabel 10. Harga-harga Kapasitas Infiltrasi Dihubungkan dengan Tekstur Tanah dan Tajuk (Penutup)

Tekstur	Kapasitas Infiltrasi (mm /jam)	
	Tanah Gundul	Bervegetasi
Liat (clay)	0 - 5	5 - 10
Lempung berliat	5 - 10	10 - 20
Lempung	10 - 15	20 - 30
Lempung berpasir	15 - 20	30 - 40
Pasir	20 - 25	40 - 50

Nilai infiltrasi untuk tanah-tanah bervegetasi juga bervariasi tergantung pada tipe vegetasi dan faktor-faktor lainnya. Pemadatan oleh hujan, hewan, ataupun peralatan yang berat secara drastis dapat mengurangi kemampuan tanah untuk menyerap air dengan menghilangkan ruang pori non-kapiler.

Curah hujan dari kandungan air mempengaruhi kapasitas infiltrasi dengan berbagai cara. Pukulan tetesan air hujan cenderung merusak struktur permukaan tanah, dan bahan-bahan

yang harus dari permukaan dapat tercuci ke dalam rongga-rongga tanah, menyumbat pori-pori selama periode-periode curah hujan yang tinggi (evaporasi dan transpirasi rendah) permukaan air tanah akan lebih tinggi, ruang pon tanah terisi oleh air, dan infiltrasi tidak dapat melebihi laju aliran bawah permukaan (perkolasi) pada lapisan yang paling kurang permeabel. Pada tingkat kandungan air tanah yang sangat tinggi infiltrasinya juga dapat dihambat karena sulit bagi udara tanah untuk keluar untuk menciptakan ruang bagi air tambahan; bila tanah sangat kering tanah-tanah tersebut dapat menjadi hidrofob (menolak air) yang akan mengurangi kapasitas infiltrasi. Sebagaimana disajikan oleh Kohnke (1968), dicantumkan pada tabel di bawah ini, adalah bahwa kapasitas-kapasitas irifltrasi permukaan, pada hakekatnya, mungkin jauh lebih besar dari pada kapasitas-kapasitas perkolasi untuk penampang tanah seluruhnya.

Tabel 11. Klasifikasi Infiltrasi Tanah dan Laju Perkolasi
(Kohnke, 1979)

Deskripsi	Infiltrasi (mm/jam)	Perkolasi (mm/jam)
Sangat lambat	1	1
Agak lambat	1 - 5	1 - 5
Lambat	5 - 20	5 - 16
Sedang	20 - 65	16 - 50
Cepat	65 - 125	50 - 160
Agak cepat	125 - 250	160
Sangat cepat	250	-

Pada lahan yang datar, penampungan tanah seluruhnya dijenuhi, maka laju infiltrasi akan berkurang hingga pada suatu laju yang ditentukan oleh permeabilitas batuan di bawahnya; akan tetapi pada lahan yang miring, karena air yang berperkolasi akan menghadapi tahanan yang lebih besar untuk mengalir dalam arah vertikal, maka air tersebut akan dialirkan dalam arah lateral ke dalam lapisan-lapisan tanah yang lebih permeabel berlempung. Tanah yang tertutup tetumbuhan yang rapat oleh rumput atau hutan lebih baik meresapkan air dari pada tanah yang terbuka. Pengaruh lainnya yang dapat mempengaruhi peresapan adalah hanyutnya garam-garam yang dapat larut, mengering dan pecahnya Pemulyaan tanah, tersekapnya udara di ruang antara butiran, suhu tanah dan kentalnya cairan air tanah.

3) Pengukuran Infiltrasi

Alat yang digunakan untuk mengukur infiltrasi disebut Infiltrrometer. Infiltrrometer ada yang berbentuk gelang terpusat (*Coneentric Ring Type*) atau disebut juga *Double Ring Infiltrrometer*, sedang bentuk lainnya adalah Infiltrrometer Jenis Tabung atau *Single Ring Infiltrrometer*. Untuk *Double Ring Infiltrrometer* terdiri dari dua silinder logam (silinder dalam berdiameter 18 cm dan luar 6 cm). Tinggi silinder (pipa) 15 cm, sedang penahan kedua silinder tersebut adalah plat setinggi 8 cm.

4.) Prosedur Pengukuran Infiltrasi

- Bersihkan serasah 50 x 50 cm di permukaan tanah dan pendamkan infiltrrometer dengan menekan atau memukul dengan palu kayu minimal 5 cm.

5) Prosedur Pengukuran Infiltrasi

- Bersihkan serasah 50 x 50 cm di permukaan tanah dan pendamkan infiltrrometer dengan menekan atau memukul dengan palu kayu minimal 5 cm.
- Usahakan peletakkannya pada daerah yang tidak terganggu akar, batu dan becek serta usahakan di daerah agak rata.
- Siapkan gelas ukuran untuk air satu liter, sebab untuk pipa dengan ukuran diameter 18 cm, bila diisi air satu liter, maka tinggi air tersebut menjadi 4 cm. Oleh karena itu siapkan tongkat halus/ mistar yang jelas untuk pembacaan setiap penurunan air satu cm atau tergaris di dinding infiltrrometer.
- Terlebih dahulu masukan air ke dalam pipa sebelah luar kira-kira setinggi 4 cm, selanjutnya masukkan air yang satu liter tadi ke dalam pipa yang di tengah. Dengan waktu yang bersamaan *stop watch* di *start* dan dicatat waktu komulatif setiap penurunan satu cm. Atau bila air meresap tertalu cepat dapat dicatat persatuan volume perwaktu (liter/ menit)
- Bila air yang 4 cm telah habis ulangi lagi dengan memasukkan air satu liter. Dalam hal ini minimal tiga kali pengukuran, dan sebaiknya sampai konstan.

Selain menggunakan infiltrrometer tipe gelang, jenis tabung dan lyssimeter, maka untuk menentukan kapasitas infiltrasi dapat dipakai alat simulator hujan, analisa hidrograph daerah aliran atau dengan perhitungan indeks infiltrasi. Ada pula yang menggunakan Test plot yaitu pada sebidang tanah yang datar di sekelilingi oleh tanggul dan digenangi air (infiltrrometer besar).

b. Perkolasi

Perkolasi adalah pergerakan air menurun di dalam tanah melalui *Soil Moisture Zone* atau zona yang tidak jenuh air (*unsaturated zone*) sampai mencapai daerah batas muka air tanah pada *saturated zone*.

1) Kapasitas Perkolasi (*Percolation - Capacity*)

Adalah kecepatan perkolasi maximum. Hal ini dikarenakan pergerakan air yang memasuki lapisan di bawah permukaan mengarah ke bawah, maka kapasitas perkolasi ditentukan oleh kondisi tanah di bawah permukaan pada "*Aeration Zone*" atau "*Unsaturated Zone*" (di antara permukaan tanah dan muka air tanah), Perkolasi tidak akan terjadi lagi, apabila "*unsaturated zone*" mencapai kapasitas lapang (*field capacity*) atau air tidak titik oleh gaya berat. Sehingga dapat didefinisikan :

Jumlah perkolasi (mm) = jumlah infiltrasi yang terjadi (mm)
Jumlah air yang diperlukan untuk pengisian kelembaban tanah
Soil moisture (mm)

2) Kecepatan Perkolasi (*Percolation Rate*)

Adalah kecepatan perkolasi yang sesungguhnya terjadi, kecepatan perkolasi tergantung pada kondisi tanah, baik permukaan tanah maupun di bawah permukaan. Nilai ini dipengaruhi oleh kecepatan infiltrasi dan kapasitas perkolasi.

c. Gerakan Air Tanah

Gerakan air tanah yang melewati formasi geologi yang dapat ditembus air melewati porinya (*permeable*) atau *akwifer* pada umumnya dapat diperlukan hukum Darcy. Penentu besarnya permeabilitas secara langsung dapat dilakukan melalui pengukuran di lapangan atau di laboratorium.

Cara kerja :

- 1) Dengan ring sampel tanah yang terbuat dari logam / paralon dengan panjang dan diameter tertentu dimasukkan ke dalam permukaan tanah atau setiap lapisan profil di lapangan hingga tenggelam dengan melapisi papan di permukaan pipa sebelah atas dan dipalu perlahan-lahan.
- 2) Bila telah tenggelam, maka tepi pipa digali pelan-pelan sehingga tanah di dalam ring/ pipa tidak terganggu strukturnya, dengan pisau dirapikan bagian atas dan bawah ring, kemudian ditutup dan siap dibawa pulang.
- 3) Sampel tanah direndam selama 24 jam agar tanah jenuh air.

- 4) Letakkan dan cucurkan air dari kran atas dimana air di bagian bawah sudah terlebih dahulu dipersiapkan dan dalam tinggi maksimal.
- 5) Bila air di keran bawah sudah menetes biarkan beberapa saat sampai diperkirakan konstan.
- 6) Bila perkiraan sudah konstan, tidak dengan jelas ukur dan bersamaan dengan waktu itu *stop watch* dimulai mengukur waktu (1/menit) lakukan sampai tiga kali dengan syarat perbedaan waktu atau volume tidak terlalu bervariasi.

Permeabilitas, khususnya infiltrasi mempunyai arti penting terhadap terjadinya proses limpasan (*run off*) dan pengisian kembali lengas tanah (*soil moisture*) dan air tanah (Soemarto, 1987).

Pengisian kembali lengas tanah sama dengan selisih antara infiltrasi dan perkolasi pada permukaan air tanah yang dangkal dalam lapisan tanah yang berbutir tidak begitu kasar, pengisian kembali lengas tanah ini dapat pula diperoleh dari kenaikan kapiler.

Besarnya perkolasi dibatasi oleh besarnya daya infiltrasi yang sangat mempengaruhi pengisian kembali lengas tanah (*recharge*). Faktor lain yang mempengaruhi *recharge* adalah tinggi hujan tahunan, distribusikan hujan dan evaporasi sepanjang tahun, intensitas hujan dan kedalaman permukaan air tanah. Sedang kedalaman permukaan air tanah sangat penting untuk kenaikan kapiler mengisi kembali daerah lengas tanah (*soil moisture zone*) akibat penguapan (evapotranspirasi) atau perkolasi.

Sebaliknya *recharge* air tanah mempengaruhi aliran dasar (*base flow*) sungai yang merupakan aliran minimum pada akhir musim kemarau. Dalam keadaan seperti ini debit sungai hanya terdiri atas aliran masuk (*in flow*) yang berasal dari air tanah.

d. Panjang dan Kecurahan Lereng

Faktor topografi yang paling dominan pengaruhnya terhadap erosi adalah panjang dan kecuraman lereng dan bentuk lereng. Komponen ini akan mempengaruhi kecepatan dan volume air permukaan (*run off*). Panjang lereng dihitung mulai dari titik pangkal aliran-aliran permukaan sampai dimana air aliran permukaan masuk ke dalam saluran-saluran (sungai), atau aliran telah berkurang akibat perubahan kelerengan (datar) sehingga kecepatan dan volume dipencarkan ke berbagai arah. Thomson (1957) menyatakan bahwa dengan pertambahan panjang lereng menjadi dua kali lipat maka jumlah erosi juga lebih dari dua kali lipat, akan tetapi erosi persatuan

luas (hektar) tidak menjadi dua kali lipat. Secara umum hubungan antara erosi dengan panjang akan kecuraman lereng dapat dinyatakan sebagai berikut oleh Maroon (1986):

$$QS \propto \tan^m \theta L^n$$

dimana "QS" adalah *sediment discharge*, "q" sudut lereng, dan "L" panjang lereng.

Zingg (1940) mendapatkan hubungan antara panjang lereng dengan besarnya erosi menurut persamaan sebagai berikut :

$$E = 0,0025 L^{1,53}$$

dimana "E" adalah besar erosi, sedang "L" adalah panjang lereng, jika nilai erosi dinyatakan dalam persatuan luas, maka persamaan menjadi :(L dalam kaki)

$$E = L^{0,6}$$

selanjutnya Zingg (1940) membuat pula hubungan erosi dengan sudut lereng sebagai berikut :

$$E = 0,065 S^{1,49}$$

dimana "S" adalah kecuraman lereng dalam persen.

Woodruff (1947) mengemukakan bahwa persamaan tersebut tidak efektif digunakan pada kecuraman di bawah 8% dan disarankan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$E = a + b S^{1,49}$$

dimana "a" dan "b" adalah konstanta.

Kemudian Smith dan Wiscmeier (1975) juga mengusulkan persamaan parabolik sebagai berikut :

$$E = 0,43 + 0,3 S + 0,043 S^2$$

dimana erosi dalam ton / acre.

Jika panjang dan kecuraman lereng digabungkan maka, Zingg (1940) mendapatkan persamaan :

$$E = C S^{1,4} L^{1,6}$$

dimana "C" adalah konstanta yang besarnya tergantung dari kecepatan infiltrasi, beberapa sifat tanah, intensitas hujan, lamanya hujan.

Pengaruh panjang lereng terhadap erosi menurut Furnier (1960) menyatakan bahwa makin panjang lereng maka erosi akan makin besar seperti tertera dalam tabel berikut :

Tabel 12. Pengaruh Panjang Lereng terhadap Penghanyutan Tanah

Panjang Lereng (m)	Aliran Permukaan terhadap Curah Hujan (%)	Erosi Ton/ Km ²
48	10,8	2134
96	18,0	4511
192	20,3	1819

Tentang kemiringan lereng (*slope*) ternyata mempengaruhi kecepatan infiltrasi, *run-off* dan daya penghanyutannya. Pada tanah yang tidak begitu curam dimana permukaan tanahnya bergelombang terhadap kesempatan air mengalir dan perembesan ke dalam tanah, sehingga daya kikis dan penghanyutan partikel-partikel berbeda pula.

Menurut Lal (1976), derajat kemiringan tanah akan mempengaruhi tegangan permukaan, sedang kecepatan aliran permukaan meningkat, dengan demikian kapasitas daya rusak air akan menjadi besar. Energi yang timbul karena aliran permukaan berubah menurut kuadrat kecepatannya, kapasitas pengangkutan butir tanah berubah dengan pangkat 5 dalam satu-satuan dimensi, jika kecepatan aliran permukaan menjadi 2 kali lipat, maka jumlah butir tanah yang terangkut menjadi 32 kali lebih banyak.

Tabel 13. Pengaruh Kemiringan Tanah terhadap Erosi (Curah Hujan 500 mm, Selama 164 jam)

Kemiringan Tanah (%)	Erosi (Ton/ Ha)
5	33,25
10	100,25
15	167,75
20	228,25

e. Penutupan Vegetasi

Peranan yang penting dari tanaman adalah melindungi tanah dari pukulan hujan secara langsung dengan jalan mematahkan energi kinetiknya melalui tajuk, ranting dan batangnya sehingga daya pengikisan dan pengrusakan oleh *run off* dapat dikurangi. Dengan serasah yang dijatuhkannya akan terbentuk humus dan bahan organik mendorong perkembangan biota tanah untuk memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah yang berguna untuk menaikkan kapasitas infiltrasi dan resistensi tanah, dengan demikian erosi akan dikurangi. Jenis tanaman terutama bentuk

pohon, kerapatan tajuk dan ranting serta luas permukaan daun dalam tajuk turut menentukan besar kecilnya daya pukulan air hujan yang jatuh. Kerapatan pohon akan mempengaruhi hambatan terhadap air hujan dalam luas yang lebih besar, sehingga populasi tanaman yang jarang akan menimbulkan erosi yang lebih besar (Sarief, 1986).

Hutan adalah paling efektif dalam mencegah erosi karena daun-daunnya rapat, tetapi rumput-rumput yang tumbuh rapat pun sama efektifnya. Untuk pencegahan erosi paling sedikit 70% tanah harus tertutup vegetasi (Sarwono, 1987). Demikian pula dengan akar-akar tanaman merupakan penyebab kestabilan agregat tanah, dalam hal ini pengaruhnya dalam mengikat butir-butir tanah, terutama tanaman jenis Leguminosa akar-akarnya bersimbiosa dengan jasad renik-renik tertentu (*Rizobium*) dalam pengadaan atau tersedianya nitrogen tanah. Sedang akar-akar tanaman yang telah mati dapat menyebabkan pori-pori tanah.

Tetes air yang jatuh dan tempat yang makin tinggi, kecepatan jatuhnya semakin besar pula ketika menumbuk permukaan tanah, yang dengan demikian akan mempunyai energi kinetik yang semakin besar. Jadi semakin tinggi suatu pohon maka akan semakin besar energi kinetik tetes air yang jatuh dari pohon itu. Di samping itu, seperti diketahui bahwa jika besar ukuran tetes air akan besar pula energi kinetiknya. Dengan demikian tetes air yang jatuh dari pohon yang tinggi dan berdaun lebar akan mempunyai energi kinetik yang semakin besar jika dibandingkan dengan pohon yang mempunyai daun kecil. Hal ini disebabkan karena daun yang lebar akan berfungsi sebagai mangkok pengumpul air hujan (Seta, 1987).

f. Manusia

Kepekaan tanah terhadap erosi dapat diubah oleh manusia menjadi lebih baik atau lebih buruk. Pembuatan teras-teras pada tanah yang berlereng curam merupakan pengaruh baik manusia karena dapat mengurangi erosi. Sebaliknya penggundulan hutan di daerah-daerah pegunungan merupakan pengaruh manusia yang jelek karena dapat menyebabkan erosi dan banjir (Sarwono, 1987).

Kegiatan perladangan dengan kebiasaan membakar areal penanaman yang berulang-ulang akan dapat merusak permukaan tanah baik terhadap kehilangan organik maupun erosi tanah. Kegiatan pengelolaan hutan seperti penebangan, penyiangan, pembuatan jalan, parit dan *base camp* harus mendapat perhatian yang khusus dalam melestarikan sumber daya hutan.

Demikian pula sektor pembangunan lainnya seperti bangunan jaringan jalan, pertambangan, pertanian, transmigrasi serta pemukiman yang menggundulkan permukaan tanah.

Pengukuran Erosi dan Aliran Permukaan

Dalam rangka program penyelamatan sumber daya alam terutama hutan, tanah dan air, sejauh ini upaya untuk menginventarisir lahan rusak akibat terjadinya erosi sudah dilaksanakan melalui pengamatan secara visual, yang berarti masih merupakan data-data kualitatif. Padahal untuk merencanakan upaya-upaya rehabilitasi lahan rusak tersebut, diperlukan adanya data kuantitatif.

Sejak Pelita IV, sesuai dengan GBHN tahun 1973. Lebih lanjut kebijaksanaan penanganan konsevasi tanah akan diutamakan dengan asas prioritas kekritisian lahan. Untuk itu diperlukan data-data untuk menentukan kegiatan tanah agar berhasil dan berdaya guna. Sedang sampai merupakan data kualitatif besar, sedang dan ringan kuantitatif tentang laju erosi konservasi saat ini data tentang laju erosi masih yang biasanya dinyatakan dalam skala saja.

Untuk menyatakan dalam bentuk kuantitatif tentunya diperlukan pengukuran-pengukuran tentang besarnya erosi. Untuk hal ini ada berapa cara untuk mengetahui/ menghitung besarnya erosi, antara lain:

- 1) Pengamatan secara langsung di lapangan yang meliputi pengamatan dalam plot kecil, pengukuran dalam waduk, dan analisa sedimen.
- 2) Pengamatan tidak langsung yaitu pendekatan dengan menggunakan rumus atau persamaan untuk memperkirakan kemungkinan besarnya erosi yang akan atau telah terjadi.

A. Pengamatan Erosi dalam Plot Kecil

Data percobaan lapangan sebenarnya masih diperlukan pengolahan di laboratorium, yang tentunya untuk mengetahui mekanisme dan proses kerja terjadinya erosi. Untuk keperluan ini di samping mengukur alam yang sebenarnya dapat juga dibuat percobaan alam buatan misalnya curah hujan buatan di atas tanah asli atau tanah olahan dengan curah hujan yang sebenarnya.

Percobaan lapangan dapat dilakukan dengan dua cara, yakni percobaan yang dilakukan secara kontinyu atau berkesinambungan dengan jalan membangun stasiun-stasiun percobaan yang sifatnya permanen, dan percobaan yang bersifat sementara dirancang hanya untuk menetapkan besarnya erosi dengan jalan mengambil sejumlah sampel pada suatu areal.

Pengukuran besarnya kehilangan tanah dan aliran permukaan pada stasiun-stasiun percobaan dilakukan dengan plot-plot yang dibangun pada suatu areal yang diketahui kelerengannya dan jenis tanahnya. Panjang plot yang digunakan bermacam-macam, misalnya dapat digunakan 11 m, 22 m, 28 m, atau 122 m. Sedang lebarnya plot juga bervariasi, yakni mulai dari 1,8 m (untuk perlakuan pengolahan tanah dengan tangan) sampai 6 m atau lebih (untuk perlakuan pengolahan dengan mesin-mesin). Kemudian walau demikian para pakar telah sepakat untuk menentukan ukuran standar plot, yakni panjangnya 22,1 m dan lebarnya 1,8 m. Jumlah plot yang digunakan tentunya tergantung pada perlakuan percobaan, dan biasanya hanya digunakan dua ulangan.

Batas tepi plot dibuat dari lembaran logam (misalnya seng), kayu atau bahan-bahan lain yang kuat, sehingga tidak mudah bocor atau berkarat. Batas tepi plot ini dibuat setinggi lebih kurang 15 - 20 cm dari permukaan tanah, dan disarankan agar bangunan ini mudah dibongkar agar dapat digunakan di tempat lain.

Peralatan khusus yang biasanya digunakan untuk menentukan besarnya kehilangan tanah dan aliran permukaan adalah *Multislot divisor* yang dikembangkan oleh Mutchler dan Young (1963). Namun peralatan tersebut sangat rumit dan memerlukan biaya yang cukup besar untuk membangunnya plot tersebut dapat memberikan data yang relatif realistis.

1. Pengambilan Contoh Aliran Permukaan dan Sedimen

- a. Air hujan yang jatuh dalam plot penadah, *run off* akan masuk ke dalam bak penampung bersama sedimen.

- b. Bila curah hujan cukup tinggi maka air akan menyucur ke luar di pipa pembuangan atau (limpasan "c"). Akan tetapi bila curah hujannya rendah, air hanya tertampung pada bak penampung setinggi "h" dan untuk volume = $h \times s \times l$.
- c. Bila air mengucur di c dan b, maka air di c dibuang saja, ini berarti air yang terbangun sama dengan yang tertampung di drum penampung "d".
- d. Jadi total air yang dialirkan adalah volume dari $a + b + c$.
- e. Saat pengambilan air, terlebih dahulu diaduk sampai sedimen merata kemudian diambil contoh kurang lebih 1 liter dari bak dan drum penampung yang nantinya akan dikerjakan di laboratorium.
- f. Bila pengambilan contoh air telah selesai, air dibuang dengan membuka kran penutup bak "d" dan bila air telah dibuang dan bak "d" telah bersih maka kran "d" ditutup kembali untuk penadahan hujan berikutnya.

2. Pekerjaan di Laboratorium

- a. Air sampel dari lapangan diaduk 1 dikocok sampai merata, dan kemudian disaring dengan kertas saring yang telah ditimbang beratnya.
- b. Bila telah disaring airnya diukur kembali dengan gelas ukur, tentunya tidak 1 liter lagi karena sedimennya telah keluar dan melekat pada kertas saringan. Dan air yang telah disaring adalah volume aliran permukaan untuk luas plot $22,1 \times 1,8$ m.
- c. Sedimen yang terjaring di kertas saring kemudian dipanaskan di oven sepanas 105°C selama 24 jam, dan bila telah kering ditimbang berat sedimen dengan kertas saring, dan berat sedimen sebenarnya adalah berat timbangan tadi dikurang berat kertas saring, dan itulah berat sedimen yang tererosi dari luas plot ukuran yang digunakan.

3. Perhitungan

Biasanya besarnya erosi dinyatakan kg atau ton/ ha/ tahun. Padahal data yang kita peroleh adalah data per plot per satu kali hujan. Jadi perlu penambahan data sebanyak mungkin untuk mendapatkan apakah data per hari, bulanan, ataupun tahunan.

Contoh perhitungan besarnya erosi dan aliran permukaan

Luas plot penadah hujan = $22,1 \times 1,8 \text{ m} = 39,78^2$ atau 0,004 ha. Bila tinggi air dalam bak penampung "h" = 0,6 m, panjang bak = 0,5 m dan lebar bak "l" = 1,8 m maka : volume air dalam bak = $0,6 \times 0,5 \times 1,8 = 0,54$ in 3 atau 540 liter. Bila diambil sampel air dari bak dan drum sebanyak

1 liter dan setelah disaring tinggal 900 ml atau 0,9 liter. Sedang tanah kering oven adalah 10 gram, jadi ini berarti dalam 1 liter air berisi 10 gram tanah untuk sedimen. Sehingga aliran permukaan (*run off*) yang terjadi adalah $0,9 \times 540 \text{ liter} = 486 \text{ liter}$, sedang sedimen yang tererosi adalah $= 10 \text{ gram} \times 540 \text{ liter} = 5400 \text{ gr}$ atau 5,4 kg. Bila tidak ada air yang masuk ke dalam drum penampung, maka perhitungan *run off* dan sedimen tererosi dapat dilanjutkan pada perhitungan satuan luas (hektar), akan tetapi bila masih ada air yang masuk ke dalam drum penampung, maka perhitungan lebih lanjut sebagai berikut:

Tinggi air dalam drum misalnya setinggi "*h*" = 0,2 m dan diameter drum 0,56 m, maka :

Volume air dalam drum $= 1/4 \pi D^2 \times h = 1/4 \times 22/7 \times (0,56)^2 \times 0,2 = 0,4928 \text{ m}^3$; atau 49,28 liter.

Karena ada dua lobang (pipa pembuang limpasan) maka volume air adalah $2 \times 49,28 \text{ liter} = 98,56$.

Jadi volume total air $= 540 + 98,56 \text{ liter} = 638,56 \text{ liter}$. Jadi *run off* yang terjadi adalah $0,9 \times 638,56 \text{ liter} = 574,70 \text{ liter}$. Untuk per hektar adalah $1/0,004 \times 574,70 = 143\,676 \text{ liter/hektar}$ untuk satu kali kejadian hujan. Sedang besarnya erosi sedimen yang terjadi perhektarnya adalah; $10 \text{ gr/liter} \times 638,56 \text{ liter} = 6385,6 \text{ gr}$ atau 6,4 kg. (untuk luas plot) untuk perhektar adalah $1/0,004 \times 64 \text{ kg} = 1,6 \text{ ton perhektar}$ atau 1600 kg/ha per satu kali hujan.

B. Pengukuran Tebal Tanah yang Tererosi

Pengukuran tebal tanah tererosi yang sering digunakan adalah dengan nilai atau benang yang dibentang sejajar dengan permukaan tanah yang berlereng. Biasanya pengamatan ini hanya untuk memonitoring kejadian erosi pada tanah yang tidak bervegetasi.

1. Pengamatan dengan menggunakan benang nilon yang dibentang sepanjang beberapa meter sejajar lereng dimana kedua ujungnya diikat pada sebuah paku yang ditancapkan ke tanah. Benang nilon ini dipasang sejajar dengan permukaan tanah kurang lebih 5 - 10 cm di atas permukaan tanah. Pada periode tertentu dapat diamati perubahan tinggi benang nilon terhadap permukaan tanah dengan interval tertentu pada benang nilon atau permukaan tanah.
2. Pengamatan dengan menggunakan patok atau paku panjang yang ditancap secara random atau sistematik dalam plot. Paku yang ditancap harus disisakan beberapa cm di permukaan tanah ($\pm 5 \text{ cm}$) dan diberi tanda dengan cat atau penggarisan logam menandai ketinggian permukaan tanah awal.

Pada pengamatan dengan cara ini data yang diperoleh akan memberikan pluktuasi dari satu titik ke titik lain. Untuk titik yang tererosi akan bertanda negatif sedang pada titik yang menerima hasil pengendapan akan bertanda positif.

C. Penelitian Erosi di Laboratorium

Penelitian mengenai erosi tanah telah banyak dilakukan baik di laboratorium. *Rainfall* simulator merupakan suatu alat yang dipergunakan di laboratorium untuk penelitian-penelitian gejala erosi tanah. Alat ini terdiri dari tangki penampung air yang berputar dengan sistem pembentuk tetesan tunggal air dan dengan intensitas hujan yang dapat diatur oleh permukaan hidrostatik di dalam suatu tangki penampung air.

Tanah yang akan diuji ketahanannya terhadap erosi terlebih dahulu dikeringkan kemudian ditumbuk setelah itu diayak dengan ayakan 5 mm. Contoh tanah ini ditempatkan pada bak contoh tanah dengan hati-hati supaya kepadatannya merata dan dihitung bd-nya. Bak contoh tanah ini diletakkan di lantai bawah dan dapat diatur kemiringannya.

Beberapa keuntungan atau kebaikan alat ini adalah dapat mengatur besarnya intensitas, besarnya butir tetes air hujan dan mengatur derajat kemiringan lereng dari tanah yang akan diuji, sedangkan hal ini sulit atau tidak mungkin dilakukan di lapangan.

D. Pendekatan dengan Universal Soil Loss Equation (USLE)

Untuk menentukan besarnya erosi dengan persamaan ini kita tidak diharuskan mengambil data (*sample*) di lapangan, terkecuali bila diperlukan untuk kontrol atau tidak tersedia data skunder :

Rumusnya:

$$E = R \times K \times LS \times C \times P$$

Dimana E = Kisaran kehilangan tanah yang diramalkan;

R = Faktor erosivitas hujan;

K = Faktor erodibilitas tanah, yakni ehilangan tanah, perunit indeks erosivitas hujan.

LS = Faktor panjang dan kecuranagan lereng;

C = Faktor pengelolaan tanaman;

P = Faktor praktek pengendalian erosi secara mekanis.

Wiscmeier (1979) yang diikuti oleh Seta (1987) mengemukakan bahwa USLE dapat dipergunakan untuk :

1. Meramalkan kisaran kehilangan tanah tahunan dari suatu lahan miring dari kondisi penggunaan lahan yang khusus
2. Meramalkan petunjuk dalam memilih sistem pengelolaan pertanian dan praktek konservasi secara mekanis pada suatu lahan miring.
3. Meramalkan perubahan kehilangan tanah yang akan dihasilkan akibat adanya perubahan sistem pengelolaan pertanian dan praktik konservasi secara mekanis pada suatu lahan.
4. Menentukan bagaimana praktik-praktik konservasi harus dilakukan agar didapatkan cara pengelolaan lahan yang lebih intensif.
5. Meramalkan kehilangan tanah dari penggunaan lahan di luar pertanian.
6. Memberikan perkiraan kehilangan tanah suatu lahan untuk para pakar konservasi, sehingga dapat digunakan sebagai referensi untuk menentukan strategi konservasi yang diinginkan.

Untuk menentukan besarnya nilai faktor-faktor USLE adalah :

1. Faktor R (Erosivitas Hujan)

Dengan membuat korelasi antara kehilangan tanah dengan berbagai sifat hujan, Wischmeier, *et.al* (1958) yang diikuti oleh Seta (1987) telah membuktikan bahwa erosi mempunyai korelasi yang sangat rendah dengan curah hujan dan mempunyai korelasi yang sangat tinggi jika dihubungkan dengan hasil kali dua macam sifat hujan yang lain, yaitu total energi kinetik (E) dan intensitas maksimum selama 30 menit (I_{30}). Oleh karena itu maka hasil kali dari dua sifat hujan tadi diambil sebagai penilaian terhadap erosivitas hujan yang kemudian disebut indeks erosivitas hujan (EI_{30})

Dari hasil penelitiannya yang dilakukan di Afrika, Hudson (1976) yang dikutip oleh Sarief (1986), menemukan bahwa terdapat intensitas hujan tertentu yang dapat mengakibatkan erosi. Menurutny intensitas hujan yang dapat menimbulkan erosi itu adalah 1 inci/jam, atau kira-kira sama dengan 25 mm/jam

Adapun nilai dari indeks erosivitas hujan tersebut adalah:

$$R = EI_{30} = \frac{E \times I_{30}}{100}$$

dimana E adalah sama dengan energi kinetik (EK) dengan persamaan (Wischmeier dan Smith, 1958) :

$$EK = 13,32 + 9,78 \log I$$

Sedangkan untuk daerah tropika, Hudson (1965) menggunakan rumus :

$$EK = EK \geq 25 \text{ mm} = 29,8 - \frac{127,5}{I}$$

dalam rumus di atas E = EK dihitung dalam joule/m² ; I = intensitas hujan (mm/jam); dan 130 = intensitas hujan maksimum selama 30 menit (mm/jam).

Dari hasil penelitian yang dilakukan di Indonesia, Bols (1978) yang dikutip oleh Sarief (1986) mengajukan suatu rumus untuk pendugaan nilai E130 dengan menggunakan data hujan yang diukur dengan penakaran hujan biasa, yaitu observatorium dan memakai parameter curah hujan bulanan dalam cm (R), jumlah hari hujan maksimum dalam cm selama 24 jam pada bulan tersebut (M), yang dapat diperoleh dari laporan hujan yang diterbitkan oleh Pusat Meteorologi dan Geofisika, Departemen Perhubungan. Rumus tersebut adalah :

$$E130 = 6.119R^{1,21} \times D^{-0,47} \times M^{0,53}$$

Untuk daerah-daerah pulau Jawa dan Madura, faktor R atau erosivitas hujan dapat dicari dengan rumus Bols di atas. Sedangkan untuk daerah-daerah di luar pulau jawa, menurut Pusat Penelitian Tanah (PPT), untuk sementara belum ada rumus tersendiri.

Oleh Bols (1978) yang diikuti oleh Dwiatmo (1985) telah dibuat peta Iso Erodent untuk pulau Jawa dan Madura, sehingga apabila angka-angka data curah hujan tidak dapat diperoleh dari daerah bersangkutan, maka nilai R dapat dicari dari peta Iso Erodent tersebut.

Di samping cara-cara di atas, saat ini tengah dikembangkan juga rumus untuk mengembangkan indek erosivitas yang dikenal dengan "AI_m", yakni indek yang menggambarkan produk intensitas maksimum (I_m) dalam cm/ jam dengan curah hujan total (A) dalam cm, dimana terbukti penggunaannya lebih baik dibandingkan E1₃₀ dan EK ≥ 25mm

Indeks erosivitas AI_M dapat dihitung dengan rumus :

$$AI_M = \sum_{1}^{12} \sum_{1}^{\pi} (ai_m)$$

dimana a = curah hujan total (cm);

i_m = intensitas maksimum suatu kejadian hujan (cm./jam)

n = hari-hari hujan dalam sebulan

Meskipun ada petunjuk bahwa penggunaan indeks erosivitas AI_m lebih baik, namun pemakaiannya perlu mempertimbangkan kondisi setempat (Seta, 1987).

2. Faktor K (Erodibilitas Tanah)

Beberapa penelitian telah mendapatkan berbagai metode-metode untuk menghitung besarnya nitai kepekaan erosi tanah, baik secara kuantitatif maupun secara kualitatif, yaitu berdasarkan sifat-sifat fisik tanah seperti tekstur, struktur, kandungan bahan organik dan permeabilitas tanah. Walaupun demikian sampai sekarang belum didapatkan cara-cara yang mudah dan cukup memuaskan.

Erodibilitas dipengaruhi oleh tekstur tanah, karena itu Boliyoucus (1935) dalam Seta (1987) mengusulkan rasio kandungan pasir dan debu terhadap kandungan liat sebagai indeks erodibilitas suatu tanah. Jadi :

$$K = \frac{\% \text{ pasir} + \% \text{ debu}}{\% \text{ liat}}$$

Dari hasil penelitian pengukuran erosi di lapangan Wischemeier dan Mannering (1969) yang dikutip oleh Morgan (1981) mendapat metode untuk menentukan indeks erodibilitas, yaitu dengan menghitung jumlah kehilangan tanah persatuan unit indeks erosivitas (E_{130}).

Karena untuk mendapatkan nitai erodibilitas tanah (K) dengan cara pengukuran erosi dan hujan di lapangan diperlukan tenaga dan biaya yang mahal maka Wischemeier, *et.al* (1987) dalam Sarief (1986) mendapatkan suatu cara pendugaan nilai faktor K dengan memakai lima parameter sifat tanah, yaitu :

- a. Kandungan debu (%) + pasir sangat halus (%),
- b. Kandungan pasir kasar (%)
- c. kandungan bahan organik (%)
- d. Struktur tanah dan
- e. Permeabilitas.

Kemudian oleh Wischemeier dan Smith (1978) dalam Dwiatmo (1985) telah dibuat nomograf nilai K dalam *British Unit*, yang selanjutnya oleh Foster, *et.al* (1981) nomograf tersebut disesuaikan ke dalam Metrik Unit.

Apabila tentang sifat tanah seperti tekstur, struktur, bahan organik dan lain-lain tidak atau belum diketahui, maka dapat angka pendekatan menurut Hammer (1987) dalam Dwiatmo (1985) seperti tertera dalam tabel di bawah. Untuk penentuan *soil erodibility* faktor (K) pada nomograf adalah sebagai berikut : misal nilai persentase debu dan pasir sangat halus = 650, maka ini adalah titik awal Bergeraknya panah (lihat sumbu vertikal paling kiri), bila nilai persentase pasir kasar = 5% maka panah stop di situ dan membelok vertikal ke atas sampai nilai persentase bahan organik (misal = 3%) kemudian membelok ke kanan sampai batas nilai struktur (misal granular halus = 2), kemudian bergerak ke bawah sampai nilai permeabilitas (lambat sampai sedang = 4) dan membelok ke kiri, sehingga didapatlah nilai K yaitu 0,30.

Tabel 14. Penilaian Tekstur Lapangan untuk Dipergunakan dalam Nomograf Erodibilitas Tanah

Tekstur	Nilai	Nilai
Lempung berat	2	38
Lempung sedang	13	43
Lempung pasiran	16	45
Lempung ringan	20	45
Lempung debuan	23	46
Geluh lempung	26	63
Geluh lempungan	33	74

Tabel 15. Penilaian Kandungan Bahan Organik

Kelas	Kisaran	Nilai
Rendah	≤ 20	1
Sedang	2.1 - 6.0	4
Agak tinggi	6.1 - 10.0	6
Tinggi	10.1 - 30.0	6
Sangat tinggi	> 30	6

Tabel 16. Penilaian Struktur Tanah

Type Struktur	Nilai
Granular sangat halus	1
Granular halus	2
Granular sedang dan kasar	3
Gumpal, lempeng, pejal	4

Tabel 17. Penilaian Permeabilitas Tanah

Kelas Permeabilitas	Cm/Jam	Nilai
Kelas Permeabilitas	> 25.4	1
Sedang sampai cepat	12.7 - 25.4	2
Sedang	6.3 - 12.7	3
Sedang sampai lambat	2.0 - 6.3	4
Lambat	0.5 - 2.0	5
Sangat lambat	< 0.56	6

**Gambar 5. Lahan yang Tererosi**

3. Faktor LS (panjang dan derajat kelerengan)

Faktor LS merupakan rasio antara tanah yang hilang dari suatu petak dengan panjang dan derajat kelerengan tertentu dengan petak baku. Tanah dalam petak baku tersebut (tanah gundul, derajat Werenpin

90, panjang 22 m dan tanpa usaha pencegahan erosi) mempunyai nilai $LS=1$.

Nilai LS dapat Wari dengan aimus Wischemeier dan Smith (1978) dalam Seta (1987) sebagai berikut :

$$LS = - \frac{(L)^m}{22,1} (65,41 \sin 2 S + 4,56 \sin S + 0,065)$$

dimana “ L ” adalah panjang lereng lapangan dalam meter, “ S ” adalah derajat kelerengan lapangan dalam derajat dan “ m ” adalah eksponen yang nilainya berkisar antara 0,2 -0,5 dengan rekomendasi :

- $m = 0.5$ jika derajat kelerengan $\geq 5\%$
- $m = 0.4$ jika derajat kelerengan $\leq 5\%$ dan $\geq 3\%$
- $m = 0.3$ jika derajat kelerengan $\leq 3\%$ dan $\geq 1\%$
- $m = 0.2$ jika derajat kelerengan $\geq 1\%$

Nilai LS dapat dihitung pada dengan rumus :

$$LS = - v \frac{L}{100} (1,38 + 0,065 S + 0,138 S^2)$$

derajat kelerengan dalam persen (Sarwono, 1987), serta nilai “ m ” = 0,5

4. Faktor C (vegetasi)

Berdasarkan nilai faktor C atau pengaruh vegetasi dapat dicari melalui nomograf dengan menghitung besarnya prosentase penutupan tanah oleh tajuk pohon dan mulsa (Gandasasmita, 1987).

Untuk mencari nilai faktor C dengan nomograf, dilakukan dengan cara sebagai berikut : pertama-tama tentukan titik pada garis skala horisontal kemudian tarik garis vertikal memotong garis persentase tajuk (*canopy*), seterusnya tarik garis horisontal ke kiri sehingga diperoleh nilai C apabila data tersedia maka perhitungan dapat dilakukan dengan:

$$C = E/R \times K \times Ls$$

Nilai faktor C dapat juga dicari dari hasil penelitian yang ditulis oleh Abdurachman, Sopiya, dan Undang K (1981) dan oleh Hamer (1981) seperti tertera dalam tabel 18 di bawah ini.

Tabel 18. Nilai Faktor C dengan Pertanaman Tunggal (Abdurachman, Sopiayah, dan Undang K (1981) dan Hamer (1981))

No	JENIS TANAMAN	ABDURACHMAN	HAMER
1	Rumput Brachiaria Decumber tahun I	0.287	0.3
2	Rumput Brachiaria Decumber tahun II	0.002	0.02
3	Kacang Tunggak	0.161	-
4	Sorghum	0,242	-
5	Ubi Kayu	-	0,8
6	Kedele	0,399	-
7	Serai wangi	0,434	0,4
8	Kacang Tanah	0,452	0,2
9	Pad (Lahan Kering	0,561	0,5
10	Jagung	0,637	0,7
11	Padi sawah	0,01	0,01
12	Kentang	-	0,4
13	Kapas, tembakau	0,5-0,7 *)	-
14	Nanas dengan penanaman menurut kontur :		
	a. Dengan mulsa dibakar.	0,2-0,5 *)	-
	b. Dengan mulsa dibenam	0,1-0,3 *)	-
	c. Dengan mulsa dipermukaan	0,01 *)	-
15	Tebu	-	0,2
16	Pisang (jarang yang monokultur)	-	0,6
17	Talas	-	0,86
18	Cabe, jahe dan lain- lain	-	0,9

19	Kebun campuran (rapat)	-	0,1
	Kebun campuran ubi kayu + kedelai	-	0,2
	Kebun campuran gude + kacang	-	
	Tanah (jarang)	0,495	0,5
20	Ladang berpindah	-	0,4
21	Tanah kosong diolah	1,0	1,0
22	Tanah kosong	-	0,95

*) Sumber : Roose 1977

Dengan adanya dua angka masing-masing dari Abdurachman dkk dan Hamer, maka untuk nilai C dapat dipakai salah satu dari dua angka tersebut atau mengambil rata-ratanya, dengan ketentuan bahwa nilai C yang digunakan harus konsisten. Sedang untuk nilai faktor C dengan berbagai cara pengelolaan pertanian dapat dicari dalam tabel 19 di bawah ini :

Tabel 19. Nilai Faktor C dengan Berbagai Pengelolaan Pertanian (Abdurachman, Sopiya, dan Undang K (1981))

No	Pengelolaan Pertanian	Nilai C
1	2	3
1	Ubi Kayu + kedelai	0.195
2	Ubi kayu + kacang tanah	0.345
3	Padi + Sorghum	0.147
4	Padi + kedelai	0.495
5	Kacang tanah + gude	0.049
6	Kacang tanah + mulsa jerami 4 ton/ha	0.571
7	Kacang tanah + kacang tunggak	0.096
8	Padi + mulsa jerami 4 ton/ha	0.128
9	Kacang tanah + mulsa jagung 4 ton/ha	0.136
10	Kacang tanah + mulsa crotalia 3 ton/ha	0.253
11	Kacang tanah + mulsa kacang tanah	0.377
12	Kacang tanah + mulsa jerami 2 ton/ha	0.387
13	Padi + mulsa crotalia 3 ton/ha	0.097

14	Pola tanam tumpang gilir x) + mulsa jerami 6 ton/ha/tahun	0.079
15	Pola tanah berurutan xx) + mulsa sisa tanaman	0.347
16	Pola tanah berurutan	0.498
17	Pola tanah tumpang gilir + mulsa sisa tanaman	0.357
18	Pola tanah tumpang gilir	0.588

Keterangan : x) jagung – padi – ubi kayu, setelah panen padi kemudian ditanam kacang tanah.

xx) padi – jagung – kacang tanah

5. Faktor P (*conservation practices*)

Meskipun nilai faktor P dapat dicari dengan menggunakan daftar Wischmeier, namun untuk lebih mudahnya, maka Indonesia digunakan nilai-nilai faktor P seperti yang ditulis oleh Hamer (1978) dan Abdurachman dkk (1981), seperti dalam tabel 20 di bawah ini

Tabel 20. Nilai Faktor P dengan Teknik Konservasi (Hamer (1978) dan Abdurachman dkk (1981))

No	Teknik Konservasi	Nilai C
1	2	3
1	Teras bangku	
	a. Sempurna	0.04
	b. Sedang	0.15
	c. Jelek	0.35
2	Teras Tradisional	0.04
3	Padang rumput (grass filed permanent)	
	a. Bagus.	0.04
	b. Jelek	0.40
4	Hill side titch atau field pits	0.3
5	Cotour-crooping	
	a. Dengan kemiringan 0-8%	0.5
	b. Dengan kemiringan 9-20%	0.75
	c. Dengan kemiringan 20%	0.9

6	Limbah jerami yang digunakan	
	a. 5 ton/ha/tahun.	0.3
	b. 3 ton/ha/tahun.	0.5
	c. 1 ton/ha/tahun	0.8
7	Tanaman perkebunan	
	a. Dengan penutup tanah rapat.	0.1
	b. Dengan penutup tanah sedang	0.5
8	Reboisasi dengan penutup tanah pada tahun awal	0.3

E. Besarnya Erosi yang Diperkenankan

Besarnya erosi yang terjadi pada suatu lahan dapat diperkirakan dengan menggunakan rumus USLE. Dalam rumus tersebut, perkiraan besarnya erosi merupakan hasil perkalian dari faktor-faktor USLE, atau $E = R \times K \times LS \times C \times P$ Ton/ Ha, dimana masing-masing faktor USLE tersebut terlebih dahulu dicari/ dihitung dengan cara di muka.

Tetapi mengingat bahwa erosi pasti terjadi, terutama pada lahan-lahan usaha yang dikelola secara intensif, namun belum mengikuti kaidah-kaidah konservasi tanah, maka untuk menilai tingkat erosi bahaya yang terjadi, perlu diketahui pula besarnya erosi yang diperkenankan (*permisible erosion*).

Dengan membandingkan besarnya angka perkiraan erosi yang terjadi dengan angka erosi yang diperkenankan, dapat diketahui besarnya peranan usaha/ perlakuan konservasi tanah pada lahan tersebut.

Besarnya angka erosi yang masih diperkenankan dipengaruhi batuan induk, ketebalan tanah, iklim, dan lain-lain. Besar angka erosi yang masih diperkenankan, sampai dengan saat ini belum ada keseragaman. Dwiatmo (1982) menulis bahwa besarnya angka erosi yang diperkenankan adalah seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 21. Erosi yang Diperkenankan (Dwiatmo, 1982)

Jeluk Tanah (<i>soil depth</i>)	Besar Erosi yang Diperkenankan (<i>permisible erosion</i>)
Dalam (> 100 cm)	14 ton/ha/tahun
Sedang (30-100 cm)	10 ton/ha/tahun
Dangkal (< 30 cm)	5 ton/ha/tahun

Sedang Thomson (1957) yang dikutip oleh Arsyad (1976) menyebutkan bahwa erosi yang masih diperkenankan adalah seperti pada tabel di bawah ini.

**Tabel 22. Erosi yang Diperkenankan
(Thomson, 1957 dan Arsyad, 1976)**

NO	Sifat Tanah dan Sub Strata	Besarnya Erosi yang Diperkenankan (<i>ton ha/thn</i>)
1	Tanah dangkal di atas batuan	1,12
2	Tanah dalam di atas batuan	2,24
3	Tanah yang lapisan bawahnya (sub soil) dapat terletak di atas, sub strata yang tidak terkonsolidasi.	4,48
4	Tanah dengan lapisan bawah berpermeabilitas lambat di atas sub strata yang tidak terkonsolidasi.	8,97
5	Tanah dengan lapisan bawah agar permeabel di atas sub strata yang tidak terkonsolidasi	11,21
6	Tanah dengan lapisan per meabel di atas sub strata tidak terkonsolidasi.	13,45

Skala makro (misalnya DAS)	0.2
Skala meso (misalnya lahan-lahan pertanian :	
- Tanah berlumpur, dalam, subur. Untuk Mid West USA	0.6 – 1.1
- Tanah berlempung, dalam, asal endapan Vollen (Kenya)	0.2 – 0.5
- Tanah-tanah yang mempunyai kedalaman :	1.3 – 1.5
0 - 25 cm	0.2
25 – 50 cm	0.2 – 0.5
50 – 100 cm	0.5 – 0.7
100 – 150 cm	0.7 – 0.9
150 cm	1.1
- Tanah tropika yang sangat mudah tererosi	2.5
- Skala mikro (misal daerah bangunan)	2.5

Penanganan dan Usaha Pengawetan Tanah Kritis

A. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kritisnya Tanah

Kritisnya tanah dapat disebabkan oleh salah satu atau beberapa kondisi/ sifat tanah, apakah karena keadaan iklimnya, keadaan tanahnya, karena keadaan air atau karena gabungan di antara beberapa anasir di atas.

1. Iklim Makro dan Mikro

Yang dimaksud dengan iklim makro yaitu iklim atmosfer, iklim ini dalam hubungannya dengan tanah menimbulkan iklim tanah yang meliputi iklim permukaan tanah (*site climat*) dan iklim tubuh tanah. Menurut Bunting (1973) dalam "*The Geography of Soil*", atmosfer bersama tanah berinteraksi dengan vegetasi penutup permukaan tanah dan membentuk iklim mikro. Iklim mikro ini di daerah-daerah yang terbuka ternyata bersifat lebih ekstrim dari pada yang terdapat di daerah-daerah yang tertutup atau terlindung rapat oleh vegetasi hutan. Iklim mikro ternyata pula lebih ekstrim dibanding dengan iklim makro atau iklim tubuh tanah.

2. Pancaran Matahari

Siklus hidrologi yang menjadi inti khusus keairan bumi dan juga yang menentukan keadaan kehidupan di bumi adalah demikian terkendali oleh tenaga pancaran matahari. Demikian pentingnya pancaran matahari itu karena dapat menguasai berbagai proses dalam tubuh tanah yang sangat berhubungan dengan :

- a. Penciptaan kesuburan tanah bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman,
- b. Pengembangan kerentanan tanah (erobilitas)
- c. Erosi tanah.

Jumlah tenaga pancaran matahari (panjang hari) sangat berkaitan dengan awan atau curah hujan yang turun. Makin banyak awan atau curah hujan, penyinaran matahari biasanya makin pendek. Dan ini berarti keadaan air dalam tanah akan makin baik (berkecukupan) akan tetapi keadaan penyinaran matahari yang diterima tanaman akan makin kurang, padahal sinar matahari sangat diperlukan bagi tanaman. Karena itulah maka di daerah iklim basah pada musim penghujan jumlah tenaga pancaran matahari atau panjang hari menjadi faktor pembatas produksi pertanian. Sedang di kawasan beriklim kering atau pada musim kemarau ketersediaan air menjadi faktor pembatas penghasil pertanian. menurut Williams dan Joseph (1976) dalam *"Climate, Soil and Crop Production in the Humid Tropics"*. Di daerah yang banyak curahan hujannya akan mengalami kekritisian jumlah tenaga pancaran matahari, sedang di daerah kering atau sedikit sekali curahan hujannya akan mengalami kritis air.

Jumlah tenaga pancaran matahari bulanan 100 jam dan 200 jam masing-masing adalah setara dengan lamanya penyinaran matahari sebanyak 28% dan 56%. Dataran rendah di Indonesia rata-rata jumlah tenaga pancaran matahari bulannannya sekitar 120 - 130 jam, sedangkan daerah pegunungan yang tinggi, ada yang hanya memiliki jumlah tenaga pancaran matahari bulanan sekitar 50 jam. Tetapi menurut Mohr (1977) tidak sedikit tempat di Indonesia bagian timur yang mempunyai jumlah tenaga pancaran matahari bulanan di atas 300 jam.

Jika apa yang telah diterangkan di atas dihubungkan dengan fotosintesa (proses produksi pertanian) maka :

- a. Lamanya penyinaran matahari atau jumlah tenaga pancaran matahari bulanan yang diterima tanah dan tanaman di bagian barat Indonesia (Jawa Barat, Sumatera, Kalimantan) akan merupakan faktor pengkritis. Kurangnya panjang hari merupakan faktor kritisnya tanah di bagian barat Indonesia ini.
- b. Sedangkan di bagian Tenggara Indonesia (Bali, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur) dan kemungkinan juga di Sulawesi bagian Tengah, air merupakan faktor kritisnya tanah.
- c. Terjadinya perbedaan tegas antara musim penghujan dengan musim kemarau di Jawa Tengah dan Jawa barat, mungkin jumlah tenaga pancaran matahari panjang hari dan air akan merupakan faktor pengkritis tanah secara bergantian.

- d. Ditinjau dari segi fotosintesa ini, kemungkinan sekali kawasan di Maluku dan Irian Jaya secara garis besarnya memiliki keadaan iklim yang secara relatif sangat menguntungkan.

3. Ekses Air

Di sini akan dikemukakan keadaan kritis yang lain yang berkaitan dengan ekses air (berlebihnya air) pada tanah. Pada tanah-tanah yang kedudukannya lebih rendah atau tanah-tanah yang terkurung oleh tanah-tanah lainnya yang letaknya lebih tinggi sehingga tanah-tanah tersebut membentuk cekungan-cekungan, ekses ini sering membentuk rawa-rawa, yang umumnya tanah tersebut daya produksinya rendah, sering menyebabkan banjir hebat, karena infiltrasi dan perkolasi tidak dapat mengimbangi laju curah hujan, arus aliran permukaan yang deras, meningkatkan potensi erosi. Di tempat-tempat ini keamanan tanya hanyalah tergantung pada vegetasi yang ada terutama vegetasi yang tumbuhnya rapat dan bila kehilangan vegetasi penutup tentunya segera menimbulkan keadaan kritis yang lebih hebat.

Berlebihan air (ekses air) akibat curah hujan besar dan lama yang merupakan potensi erosi, hal ini mungkin menimbulkan erosi hebat kalau menimbulkan aliran permukaan yang hebat sedangkan erodibilitas (kerentanan tanah terhadap erosi) tidak mendukung karena daya resap air dan daya simpan air tubuh tanah serta kemantapan agregat partikel-partikel tanah kurang baik.

Uraian-uraian di atas adalah sangat berkaitan dengan timbulnya kritis tanah yang disebabkan atau banyak berhubungan dengan keadaan iklim yang tidak menguntungkan (iklim yang basah) dan tanah yang mempunyai kemiringan.

4. Pencucian (*Leaching*)

Pada tanah keadaannya tidak mempunyai kemiringan atau yang hanya kecil saja kemiringannya, akan tetapi kapasitas infiltrasi airnya cukup baik, maka sebagian besar air curah hujan akan terserap ke dalam tubuh tanah dan berlanjut menjadi perkolasi dalam. Kritisnya tanah pada tanah yang demikian bukan lagi merupakan erosi dan penggenangan, melainkan pencucian atau *leaching*.

Dengan berlangsungnya pencucian ini, secara berangsur-angsur tanah menjadi miskin akan unsur hara, produktivitas atau kesuburan aktual merosot, menurunkan pula cadangan mineral. Berbagai unsur hara yang pada mulanya berada dalam bentuk mineral oleh proses hidrolisa menjadi terbebaskan yang selanjutnya akan mudah sekali tercuci, maka kesuburan potensial pada tanah akan terus merosot yang pada akhirnya tanahpun akan menjadi gersang.

B. Kekritisan pada Tanah Kering

Tanah kering merupakan suatu lingkungan fisik mencakup iklim, relief, tanah, hidrologi dan tanaman yang sampai pada batas-batas tertentu akan mempengaruhi kemampuan penggunaan tanah tersebut.

Iklim di kawasan tanah kering adalah iklim kering, timbulnya kekritisan sehubungan dengan kurangnya air di kawasan itu. Kekurangan air ini tentu dipertimbangkan dari segi kehidupan, terutama usaha pertanian yang umumnya dilakukan oleh penduduk Indonesia. Dari segi ini kita dapat mengetahui perbedaan yang pokok antara tanah basah dan tanah kering, terutama cara penyediaan air untuk memenuhi keperluan tanaman yaitu dari air hujan melalui pengalihan kepada bentuk lengas tanah, yang dalam pengertian ini mencakup air hujan yang ditampung dalam penampungan yang ada di dalam tanah lapangan.

Kritisnya air, yang menyebabkan ketergantungannya pada air hujan menjadikan tanah kering memiliki sifat-sifat yang demikian berbeda dengan tanah basah. demikian pula masalah-masalah yang timbul sehubungan dengan pemanfaatannya, yang terutama meliputi masalah fisik tanah (bahan organik) tanah, status unsur hara, kapasitas pertukaran kation / anion tanah, kerusakan struktur tanah, solum sfektif, masukan teknologi dan erosi tanah. Yang terakhir ini umumnya merupakan masalah yang paling serius karena semakin bertambah hebat dengan banyaknya faktor sifat, tanah tidak menguntungkan dan seringnya masukan teknologi yang tidak sesuai.

Menurut Satari (1982), luas tanah kering di Indonesia sekitar 123 juta hektar, sedangkan tanah basah sekitar 38 juta hektar. Dari 123 juta tanah kering, sekitar 25 juta hektar merupakan wilayah datar sampai bergelombang dengan kemiringan 0 - 8%, dari jumlah ini sekitar 5 juta hektar telah dimanfaatkan sebagai pertanian rakyat permanen, perkebunan, kota, perkampungan dan prasarana ekonomi lainnya. Jadi yang berkemiringan antara 0 - 8% masih sekitar 20 juta hektar yang belum dimanfaatkan. Sisa dari jumlah tanah kering (123 juta hektar-25 juta hektar) ternyata 6 juta hektar merupakan tanah kering dengan kemiringan 8 - 15 % dan sekitar 92 juta hektar merupakan tanah kering dengan kemiringan lebih dari 15%.

Pada kondisi tanah-tanah kering jumlah tenaga pancaran matahari adalah besar. Apabila turun hujan di kawasan ini, maka air pun akan segera menguap. Jika curah hujan lebih besar dari penguapan akan ada kelebihan air untuk aliran permukaan, rembesan samping dan perkolasi dalam. Jika curah hujan sama dengan penguapan, maka

kegiatan air di atas tanah dan di dalam tanah terhenti. Air sangat diperlukan untuk menjalankan proses-proses penghancuran dalam tanah dan untuk menggerakkan kegiatan jasad renik, maka dengan ketiadaan air alum permukaan air rembesan samping dan air perkolasi akan menyebabkan tanah itu mati dan tanaman pun tidak mungkin tumbuh karena tidak tersedianya air dalam tanah. Jadi curah hujan lebih kecil dari penguapan maka air simpanan atau air yang masih tersedia di daerah tetangganya akan ikut hilang menguap, karena air di kawasan tetangganya itu akan tertarik masuk merupakan aliran bawah dan muka tanah yang bergerak di bawah kendali perbedaan potensi lengas yang besar, dan kemungkinan menguap bersama-sama. Jadi kritisnya air pada suatu lokasi dapat merambat ke lokasi-lokasi di sekelilingnya (yang semula tidak kritis), maka jumlah tanah kering pun akan bertambah luas. Menurut Notohadiprawiro (1978), suatu daerah dinyatakan kering atau kekurangan air apabila curah hujan setahunnya rata-rata 1.200 mm atau kurang.

C. Harkat Kemampuan Tanah

Dalam membicarakan tentang tanah, umumnya mencakup relief (bentuk muka tanah) makro atau mikro. Relief merupakan salah satu faktor yang mengendalikan proses-proses pembentukan tanah, tetapi kita harus ingat pula bahwa pada pihak yang lain relief merupakan juga salah satu gejala perkembangan tanah karena pengaruh kegiatan lingkungan fisik atau hayati (perhatikan : teras sungai, parit erosi, tanah alupial, bukit anai-anai dan lain sebagainya) atau merupakan jelmaan watak tubuh tanah (bentuk relief mikro pada tanah-tanah vertisol). Keadaan nyata pada relief tanah tersebut berpengaruh pula pada harkat kemampuan tanah (tingkat kritis tanah).

Harkat kemampuan bentuk muka tanah makro lazimnya dihubungkan dengan kelemahan/ kerentanan tanah terhadap erosi atau longsor dan aliran permukaan. Harkat kemampuan bentuk muka tanah makro lazim pula dihubungkan dengan pengaruhnya terhadap tanah yang ada di bawahnya, apakah membahayakan dan sampai beberapa bahayanya. Dalam hal ini misalnya mendorong ataupun menjadi penyebab aliran air permukaan yang berlebihan (banjir) tanah atau penyebab longsor tanah yang menimbun tanah-tanah datar yang ada di bawahnya. Bentuk tanah permukaan bagaikan parit-parit erosi yang dapat berpengaruh pula pada harkat kemampuan tanah (kritisnya tanah) cukup besar karena dapat mendorong lekas terangkutnya tanah permukaan dan menimbulkan lapisan tanah di bawahnya yang keadaannya memang kurang kesuburannya, sehingga kemanfaatan

tanah selanjutnya menurun. Parit-parit erosi seperti di atas ternyata pula dapat menimbulkan aliran deras yang akan mengikis tanah-tanah yang sedang diusahakan, mengikis tanah tanggul yang dibentuk untuk memperlambat erosi, dengan demikian erosi atau kelongsoran dapat berlangsung lebih hebat.

Bentuk-bentuk permukaan tanah (relief) yang cekung dapat menimbulkan tanah menjadi kritis. Tanah yang cekung biasanya dijadikan penampungan air, apabila tumpahan air pada tanah itu bertahan lama karena kemampuan infiltrasi ke dalam tanah sangat lambat (laju perkolasi lambat) sedangkan penguapan terhambat pula karena lengas udara relatif tinggi, maka keadaan demikian menimbulkan suasana reduktif dalam tubuh tanah dengan risiko gangguan atau akibat buruk terhadap keterlampauan tanah, misalnya :

- a. Menurunkan kelancaran penyebaran (*diffusion*) gas antara tubuh tanah dengan atmosfer;
- b. Keracunan oleh pembentukan zat-zat racun, asam organik H_2 ;
- c. Penimbunan unsur-unsur renik tersedia dalam jumlah yang dapat menimbulkan keracunan Al, Fe, Mn.

Erosi selektif (terhadap partikel-partikel yang lebih halus) menjadikan tanah di lapisan permukaan agak kasar, penurunan kemampuan penyimpanan lengas yang tersedia dan penurunan kemampuan penyimpanan hara yang tersedia serta daya sangga bahan-bahan kimiawi. Kasarnya tekstur permukaan dapat pula terjadi secara alami karena bahan induk tanah sukar untuk melapuk atau karena iklim kurang kemampuan untuk melapukkannya.

Kerusakan struktur *top soil*, sering merupakan awal pendangkalan ke dalam tanah yang efektif, juga merupakan awal memburuknya dinamika lengas tanah (kemampuan infiltrasi) kemantapan udara tubuh tanah serta pengambatan perembesan air menuju penampungan air dalam tanah. Terhambatnya perembesan tanah menimbulkan tumpahan air di permukaan, sedang berlebihannya air yang merembes ke dalam tubuh tanah dapat menimbulkan pencucian pemiskinan hara, jadi kedua-duanya sama buruknya, yang baik adalah perembesan yang wajar tetapi lancar. Kerusakan struktur tanah kenyataannya akan menurunkan konsistensi tanah dan memperkecil kemungkinan dapat diperolehnya hasil olahan yang memuaskan.

Kerusakan lapisan permukaan dengan adanya pengaruh basah akan menjadi lapisan ini mudah berlumpur, yang selanjutnya apabila timbul pengaruh kering, maka tanah lumpur akan berubah menjadi padat dan kering, yang dapat berlaku sebagai lempeng pengatup yang

dapat mempersulit pertukaran gas dan air antara tubuh tanah dengan atmosfer. Dengan demikian maka penyegaran udara dan air dalam tubuh tanah tidak dapat dilangsingkan. Pengolahan tanah menjadi berat, perkecambahan benih mengalami kesulitan, dan kalau tanahnya mengalami kemiringan sudah tentu dapat menimbulkan erosi karena aliran permukaan akan meningkat dengan kekuatan kikisan yang meningkat pula.

1. Kemasaman Tanah

- a. Kemasaman tanah berakibat langsung terhadap tanaman karena meningkatnya kadar ion-ion hidrogen bebas, masing-masing jenis tanaman akan tumbuh dan berkembang dengan baik pada pH 5,5 sampai 7,5. Apabila pH jenis tanaman itu tidak sesuai dengan persyaratan fisiologinya. Pertumbuhan tanaman akan terhambat atau bahkan mati.
- b. Kemasaman tanah berakibat pula terhadap baik/ buruknya atau cukup kurangnya unsur hara yang tersedia, dalam hal ini pada pH sekitar 6,5 tersedianya unsur hara yang dinyatakan paling baik, pada pH di bawah 6,0 unsur P, Ca, Mg, r2o ketersediaannya kurang, pada pH di bawah 4,0 ketersediaan unsur hara makro dan Mo dinyatakan buruk sekali, pada pH rendah ketersediaan Al, Fe, Mn, Bo ketersediaannya akan demikian meningkat dimana tanaman akan mengaiami keracunan.
- c. Kemasaman tanah dapat berakibat pula hidrolisa mineral-mineral liat (pada pH di bawah 4,0) yang menimbulkan 2 peristiwa penting yaitu :
 - 1) Terbatasnya ion Al dalam jumlah yang banyak sehingga menimbulkan keracunan, dan
 - 2) Penghancuran kompleks absorpsi (penyerapan) anorganik yang selanjutnya menjadi daya simpan hara yang tersedia dan daya sangga suasana kimiawi dan daya simpan lengas menurun sekali.

Pencucian-pencucian (*leaching*) yang berkepanjangan dapat menjadikan tanah masam. Apabila air pencucian mengandung asam yang lebih kuat dan pada asam karbonat akan terjadi penurunan pH yang lebih nyata, dalam hal ini misalnya air pencuci yang terlebih dahulu telah bercampur dengan serasah/ sisa-sisa tanaman yang tengen membusuk. Air pencuci yang mengandung asam klorida atau asam sulfat (keduanya merupakan asam kuat) dapat menurunkan pH sedemikian rupa.

Proses pemasaman tanah-tanah rawa yang berasal dan endapan marin dapat menimbulkan :

- a. Peningkatan kacamatan tanah sedemikian rupa (pH di bawah 3,0 sampai di bawah 2,0), seperti misalnya di kawasan rawa pasang surut;
- b. Endapan marin (terutama yang kaya akan bahan organik) mengandung sekumpulan senyawa sulfida (kebanyakan berupa pirit)

Perbaikan pada tanah rawa ini dengan cara memperlancar pengaliran airnya dan pelancaran gerakan pasang surut akan dapat memperlancarkan pertukaran gas antara tubuh tanah dengan atmosfer. Dengan demikian CO_2 yang banyak keluar, berganti dengan O_2 yang banyak masuk, oksidasi pun akan meningkat dengan cepat. Senyawa Sulfida teroksidasi menjadi asam sulfat, yang mudah larut dalam air, sehingga mudah tersebar ke bagian-bagian dalam tubuh tanah atas banftm lengas tanah. Oleh sebab inilah tanah di daerah ini akan mengalami kemasaman sangat hebat, kemungkinan pH berada di sekitar 2,0 sehingga tanaman kurang mampu bertahan dalam pertumbuhannya dan akhirnya mati.

Jadi kaitannya dengan uraian di atas, tanah akan menjadi kritis sedemikian rupa apabila pH nya di bawah 2,0 atau mengalami kemasaman yang hebat. Kabalikan dari kemasaman di atas, yaitu pH yang meningkatkan tinggi dapat menimbulkan gangguan terhadap pertumbuhan tanaman baik secara langsung atau tidak langsung, dalam hal ini misalnya suasana yang sangat alkalin, pH meningkat sehingga melampaui nilai 8,5. Keadaan demikian mampu mendispersikan agregat-agregat tanah, struktur tanah mengalami kerusakan. Unsur Mo dan Bo memang masih tersedia akan tetapi unsur-unsur lainnya menjadi tidak tersedia. Menurut Rismunandar (1984), ketidaklengkapan dari zat makro dan mikro dapat mempengaruhi pertumbuhan, pengembangbiakan dan produktivitas tanaman. Peracunan pun akan terjadi oleh Bo, sedangkan Nitrogen mengalami penyusutan.

2. Garam Tanah

Penimbunan garam-garam netral yang mudah melarut dapat menimbulkan garam tanah. Khususnya daerah yang berpantai, garam tanah yang selalu dihubungkan dengan keberhasilan. Penyusupan air laut ke daratan, yang umumnya berlangsung melalui saluran-saluran permukaan dan melalui jalur-jalur di bawah tanah.

Pengaruh langsung pada tanaman yaitu dengan terjadinya larutan tanah hipertonik terhadap cairan sel, yang selanjutnya akan terjadi pengaliran cairan sel ke tanah di sekitar akar, yang akibatnya :

- a. Akar tidak dapat menghisap larutan yang mengandung hara;
- b. Sel-sel tanaman pada akhirnya akan mati disebabkan plasmolisis.

Pengaruh tidak langsung yaitu dalam bentuk peningkatan tegangan air tanah yang dapat menjadikan berkurangnya air tanah tersebut bagi tanaman dan kejadian ini akan menyebabkan tanaman menjadi layu secara fisiologi.

3. Cadangan Mineral

Kritisnya cadangan mineral sulit diatasi. Sebagaimana kita ketahui, cadangan mineral menentukan cadangan hara dalam bentuk mineral asli yang berasal dari induk tanah. Hal ini akan jelas kalau ditinjau dari pada kenyataan-kenyataan sebagai berikut :

- a. Terdapat tanah-tanah yang secara potensial banyak mengandung unsur hara dalam bentuk mineral asli, ini karena bahan induknya memang kaya akan bahan-bahan itu;
- b. Terdapatnya tanah-tanah yang sejak semula miskin akan unsur-unsur hara, karena memang bahan induknya miskin mineral yang berharga.

Kritisnya tanah akan unsur hara mineral/ cadangan mineral bersumber pada bahan induk tanah sebagai suatu faktor endogen.

D. Kritis Aktual, Kritis Potensial

Dengan berdasarkan uraian-uraian di atas, dengan jelas dapat diketahui faktor atau sumber kritisnya tanah, yaitu :

1. Sumber edagen, sumber yang dapat dalam tanah itu sendiri seperti halnya -kagan -zadatihan mineral di atasnya.
2. Sumber eksogen, sumber yang terdapat di luar tubuh tanah yang umumnya/ kebanyakan kedudukan dalam iklim, seperti yang telah dikemukakan;
3. Sumber antropogen, yaitu manusia yang selalu mempercepat teradinya kritis tersebut.

Dengan pengertian di atas, tanah kritis dapat digolongkan menjadi:

1. Tanah kritis aktual, karena batas-batas keberlangsungannya serta teknologi untuk- mengatasinya telah diketahui. Secara relatif mudah dikoreksi dan setelah berhasil diatasi, kemampuannya dapat memenuhi harapan;

2. Tanah kritis potensial, harkat kritisnya dapat diperkirakan, tetapi teknologi penanggulangannya yang mantap belum diketahui. Sambil menunggu diperolehnya teknologi ini dengan cara-cara yang masih dipertimbangkan pengelolaan tanah ini terus juga dilakukan dengan harapan dapat memberikan hasil yang lumayan;
3. Tanah kritis aktual dan potensial, kemampuan tanah ini sangat rendah, dengan usaha-usaha untuk mengoreksi dan memperbaikinya. Pada kritis yang aktual kemampuan tanah dapat dipulihkan walaupun hanya dapat taraf sedang.

Beberapa penjelasan lebih lanjut dapat diterapkan pada tanah-tanah yang terbentuk di Indonesia.

1. Di pulau Kalimantan dan Sumatra terdapat tanah-tanah yang masih tertutup hutan lebat. Tanah di sini berkembang dari bahan induk tanah berupa endapan tanah yang pekat sampai tanah pekat liat berkuasa.

Tanah demikian apabila dibuka (kepentingan transmigrasi misalnya), sejak-pembukaannya mempunyai kemampuan aktual yang lumayan, dan jika dikelola secara baik serta penuh kecermatan kemampuannya dapat ditingkatkan sampai mencapai harkat sedang dan cukup baik. Tanpa pengelolaan yang baik dan cermat kemampuannya akan berubah menjadi buruk, karena tanah-tanah ini mempunyai sifat kritis potensial yang berat, terutama apabila lapisan tanah atasnya yang terbentuk oleh vegetasi hutan lebat mengalami kerusakan. Mungkin dengan pengolahan tanah minimal dan penanaman dengan tanaman-tanaman rapat atau dijadikan tanah perkebunan dengan memperhatikan tanaman penutup tanahnya, tanah demikian dapat dikelola dengan baik dengan hasil yang memuaskan.

2. Menurut penelitian para ahli, tanah yang terbentuk dan endapan abu vulkan basa (*intennedier*) yang tebal serta memiliki morfologi yang seragam tidak mudah menjadi kritis dengan terkenanya erosi permukaan (*sheet erosion*), misalnya tanah-tanah yang terdapat di sekitar gunung berapi "Merapi dan Merbabu".

Lain halnya kalau terbentuk tanah seperti di atas bersifat dangkal. Tanah demikian akan mudah sekali menjadi kritis apabila terkena *sheet erosion*, misalnya tanah-tanah sekitar "Gunung Kidul, Gunung Sewu dan Gunung Kendeng".

Beberapa hal yang termasuk karakteristik tanah yang biasa dianggap sebagai penentu kekritisannya aktual yaitu : keadaan kelengasan tanah, pengaturan alami, kegaraman pertukaran, kadar kation-kation

dan kadar bahan organik. Sedang yang biasa dianggap sebagai penentu kritis potensial yaitu kedalaman efektif, tekstur, perkembangan agregasi alamiah (hubungan kestrukturatan tanah), daya simpan hara yang tersedia dan daya sangga suasana kimiawi, watak fraksi liat, jumlah cadangan mineral serta mineral-mineral yang terlapukan.

Tanah-tanah kritis seperti yang telah diterangkan, perlu, mendapat penanganan yang baik sebelum menjadi rusak benar, tidak mampu memberikan manfaat lagi, atau sebelum kena erosi yang hebat banyak menimbulkan malapetaka di samping produktivitasnya hilang. Tanpa memperhatikan pengelolaan/ penanganan dengan cara memberikan/ koreksi atau perbaikan-perbaikan dengan teknologi yang mantap maka bertambahnya tanah-tanah kering / tandus, gundul dan tanah-tanah yang tidak produktif akan meningkat. Usaha pengawetan dan perbaikan-perbaikan perlu ditingkatkan, agar tanah yang kini akan bermanfaat pula bagi keturunan-keturunan sepanjang masa.

E. Usaha dan Prinsip Pengawetan Tanah dan Air

Dengan berdasarkan pada uraian di atas, maka pengawetan tanah (konservasi tanah) dapat lebih ditegaskan yaitu berbagai usaha manusia yang tidak saja terbatas pada usaha pengendalian erosi, melainkan juga akan mencakup segala usaha/ kegiatan untuk melakukan koreksi (pemeliharaan, perbaikan) tanah-tanah yang mengalami kekurangan kandungan unsur hara, yang mengalami penurunan daya produksinya, dengan maksud agar segalanya dapat dipulihkan kembali atau memperoleh peningkatan.

Pada prinsipnya usaha pengawetan tanah yaitu mengatur hubungan antara intensitas hujan, kapasitas infiltrasi tanah dan *run off*, dengan melakukan pendekatan-pendekatan sebagai berikut :

1. Mempebaiki dan menjaga keadaan tanah agar resistan/ tahan terhadap penghancuran agregat tanah dan pengangkutannya serta dapat meningkatkan daya serap air di permukaan tanah;
2. Menutup permukaan tanah, terutama dengan tananan-tanaman yang rapat tumbuhnya yang bermanfaat bagi manusia, atau dengan tanaman lainnya, serasah tanaman, agar permukaan tanah terlindung dari daya tumbuh % daya rusak butir-butir hujan;
3. Mengatur aliran permukaan agar air tanah dapat terpenuhi dan daya alirannya tidak sampai merusak/ mengikis bagian-bagian tanah yang dilaluinya.

Morgan (1980) mengemukakan bahwa efektivitas tanaman dalam mengurangi erosi dan aliran permukaan dipengaruhi oleh tinggi tanaman dan kontinuitas daun, kepadatan tanaman, dan sistem permukaan tanaman. Biasanya efektivitas pengaruh tanaman terhadap erosi diukur dari produksi bahan kering tanaman dalam persatuan luas dikalikan dengan kemampuan tanaman dalam menutup tanah yang biasa disebut “indek efektivitas” tanaman.

Kepadatan tanaman akan mempengaruhi luasan lahan yang tertutup. Dengan demikian semakin padat tanaman yang ada di permukaan tanah semakin kecil kemungkinan terjadinya erosi. Persentase penutupan tajuk ini minimal 70% harus menutupi permukaan tanah agar terhindar dari erosi founrier.

Dalam usaha pencegahan dan pengendalian erosi dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa cara atau metode, yaitu :

1. Metode Vegetatif

Usaha pengawetan tanah (dan air) dengan metode ini yaitu dengan mengendalikan atau memanfaatkan peranan/ fungsi tanaman, karena tanaman :

- a. Dapat melindungi tanah terhadap daya tumbuh/ rusak butir-butir hujan yang menimpa permukaan tanah;
- b. Dapat melindungi tanah terhadap daya kikis/ rusak aliran permukaan tanah;
- c. Mencegah proses pencucian unsur hara dan mengurangi fluktuasi temperatur tanah;
- d. Dapat menambah bahan organik memperbaiki porositas, stabilitas/ pemantapan agregat serta struktur dan sifat kimia tanah melalui usaha peningkatan aktivitas biota tanah serta meningkatkan kapasitas infiltrasi;
- e. Dapat meningkatkan daya isap tanah akan air yaitu karena banyaknya air yang diuapkan ke udara melalui proses evapotranspirasi. Dengan demikian pula *run off* sedikit banyak dapat dikurangi.

Usaha pengawetan tanah dengan cara vegetasi ini disebut juga sebagai cara pengendalian erosi secara biologi (*biological erosion control*), dan beberapa cara vegetasi atau pengendalian erosi secara biologi ini adalah sebagai berikut :

- a. Penanaman dengan tanaman penutup tanah permanent (*permanet plant cover*) yaitu penghijauan dengan menanam tanaman tahunan, menghutankan kembali lahan-lahan yang tidak produktif dan

- bebas tebang (reboisasi).
- b. Penanaman dalam strip (*strip cropping*) atau penanaman menurut kontur.
 - c. Penanaman berganda (*multiple cropping*) atau rotasi tanaman.
 - d. Memelihara tanaman rerumputan atau tanaman leguminosa.
 - e. Menutup tanah dengan mulsa, baik dari sisa-sisa tanaman ataupun dari bahan yang lain.

a. Tanaman Penutup Tanah (*Cover Croin*)

Berdasarkan habitat pertumbuhannya, tanaman penutup tanah dapat dikelompokkan menjadi lima golongan (Ochse *et.al*, 1961) yakni: tanaman penutup tanaman rendah (menjalar, rumput, semak), tanah sedang (semak, belukar), tanah tinggi (pohon), belukar alami dan tanaman yang tidak disukai.

Pemanfaatan tanaman-tanaman ini dapat digunakan dalam pola pertanaman rapat (*high-density planting*), baris, pagar, teratur di antara barisan atau tanaman pokok. Sedang kegunaan lain adalah untuk perlindungan temas atau saluran-saluran air, digunakan di luar areal tanaman utama dan merupakan bahan sumber organik, untuk penghutanan atau penguat dan pelindung tebing/ terras dan jurang-jurang.

Untuk pemilihan jenis tanaman penutup tanah perlu memperhatikan tempat dan jenis tanaman yang dipilih, misalnya :

1. Tanaman harus cepat tumbuh dan dapat menghalang pertumbuhan tumbuhan pengganggu serta muda didapat (stek atau biji).
2. Toleran terhadap tanah miskin, tempat tumbuh dan sinar matahari atau tahan terhadap peneduhan.
3. Diharapkan tanaman dapat memperkaya bahan organik, nutrien yang diperlukan tanah maupun tumbuhan, sehingga tanah akan menjadi subur atau tanaman dapat dijadikan mulsa.
4. Dapat mempunyai nilai komersil, misalnya untuk makanan ternak, peneduh dan nilai komersil lainnya.

b. Penanaman dalam Strip (*Strip Cropping*)

Yang dimaksud dengan penanaman dalam strip adalah suatu cara bercocok tanam dengan satu atau beberapa tanaman, dimana masing-masing jenis tanaman ditanam dalam strip, pada sebidang tanah dan disusun berdasarkan garis kontur atau memotong arah lereng. Dalam sistem ini semua pengolahan tanah harus dilakukan memotong arah lereng.

Ada tiga macam metode penanaman dalam strip (Troeh *et.al*, 1980) Yakni :

- 1) Penanaman dalam strip menurut garis kontur (*countur strip cropping*)
- 2) Penanaman dalam strip lapangan (*fild strip cropping*)
- 3) Penanaman dalam strip penyangga (*buffer strip cropping*)



Gambar 6. Strip Cropping (Sumber: ICRAV)

Pada penanaman *contur strip cropping*, tanaman ditanam sejajar dengan garis kontur, karena itu sistem ini hanya dapat diterapkan pada lahan-lahan yang lerengnya panjang rata atau seragam.

Pada *field strip cropping*, penanaman tidak perlu sama sejajar garis kontur namun cukup dilakukan memotong lereng dengan lebar strip yang seragam. Sistem ini terutama dilakukan pada lahan-lahan yang mempunyai kelerengan tidak teratur. Pada *buffer strip cropping*, di antara tanaman pokok ditanami tanaman penyangga (pengawet tanah). Sistem ini dilakukan untuk mengatasi lahan-lahan yang sangat estrim dengan kelerengan yang tidak teratur (lebar strip tidak selalu seragam).

c. Pertanaman Berganda (*Multiple Cropping*)

Pertanaman berganda adalah sistem bercocok tanam dengan menggunakan beberapa jenis tanaman yang ditanam secara bersamaan disipkan, atau digilir pada sebidang tanah. Pada sistem ini peranan Agroforestry sangat membantu baik untuk konservasi tanah dan air maupun dalam meningkatkan masyarakat.

Dilihat dari saat dan cara menanamnya, maka sistem *multiple cropping* dapat dibedakan sebagai berikut :

1) *Intercropping*

Intercropping atau tumpang sari adalah sistem bercocok tanam dengan menggunakan dua atau lebih jenis tanaman yang ditanam serentak pada sebidang tanah. *Intercropping* dibedakan atas *Mixed intercropping* (jika tanaman dicampur dengan tidak membentuk barisan-barisan tanaman) dan *Row intercropping* (jika tiap jenis tanaman ditanam dengan membentuk barisan yang berselang seiring).

2) *Sequential Cropping*

Sequential cropping atau pertanaman beruntun adalah sistem bercocok tanam dengan menggunakan dua atau lebih jenis tanaman pada sebidang tanah, dimana tanaman kedua/ berikutnya ditanam bersamaan dengan permanen dengan tanaman pertama. Sistem ini dibedakan atas beberapa tipe, yakni : *Double cropping* (jika menggunakan tiga tanaman). *Quadruple cropping* (jika menggunakan empat tanaman).

3) *Relay Cropping*

Relay cropping atau tumpang gilir adalah sistem bercocok tanam dengan menggunakan dua atau lebih jenis tanaman pada sebidang tanah, dimana tanaman kedua/ berikutnya ditanam pertama berbunga.

4) *Alley Cropping*

Alley cropping adalah sistem bercocok tanaman dengan menggunakan dua atau lebih jenis tanaman pada sebidang tanah, dimana salah satu jenis tanaman yang ditanam adalah tanaman legume non pangan untuk menyediakan bahan organik (mulsa) bagi tanah dan sekaligus meningkatkan kesuburan tanah.

d. Pemakaian Mulsa

Seperti diketahui bahwa setelah panen dan akan mempersiapkan lagi lahan untuk musim penanaman berikutnya, banyak limbah (bekas pembersihan lahan) dibuang atau dibakar. Dalam usaha konservasi tanah tidak saja meliputi usaha mengendalikan erosi, tetapi juga meliputi usaha mengendalikan erosi, tetapi juga meliputi usaha memperbaiki tanah-tanah yang rusak. Untuk menunjang hal ini maka pemakaian mulsa sisa tanaman hasil pembersihan lahan) sangat disarankan. Karena pemakaian mulsa dapat memberikan keuntungan sebagai berikut :

- 1) Melindungi agregat tanah dari daya rusak butir hujan;
- 2) Mengurangi kecepatan dan volume aliran permukaan;
- 3) Meningkatkan agregasi dan porositas tanah;
- 4) Meningkatkan bahan organik tanah;
- 5) Memelihara temperatur dan kelembaban tanah, dan
- 6) Dapat mengendalikan pertumbuhan tanaman pengganggu.

Untuk pemilihan mulsa haruslah mempertimbangkan tujuan dari pemberian mulsa, apakah untuk tujuan kesuburan tanah, maka kondisi tanah sangat berpengaruh, sedang untuk tujuan pencegahan erosi rasio C 1 N harus diperhitungkan, sebab bila rasio C / N besar maka mulsa sukar untuk dilapukkan dan bila kecil akan mudah dilapukkan.

e. Reboisasi, Penghijauan dan Rehabilitasi Lahan

Reboisasi adalah usaha untuk memulihkan dan menghutankan kembali tanah hutan, sehingga kebutuhan akan hutan dan fungsi hutan dapat dipenuhi, baik untuk keperluan produksi maupun untuk pengaturan tata air serta untuk perlindungan alam dan sosial budaya.

Menurut Kartasapoetra (1985) bahwa istilah rehabilitasi tegakan adalah merupakan kegiatan untuk memperbaiki mutu dengan memperhatikan kondisi lahan pada hutan-hutan bekas tebangan (tebang pilih) dalam areal Hak Pengusahaan Hutan (HPH). Sehubungan dengan hal ini pula maka dapat dibedakan bahwa reboisasi merupakan kegiatan untuk membuat tegakan hutan baru dalam kawasan hutan bekas tebang habis atau tanah-tanah kosong yang ditinjau dari tata guna pemanfaatan wilayah perlu dihutankan. Sedangkan penghijauan adalah usaha pembentukan tanaman di atas tanah-tanah gundul dan kritis di luar kawasan hutan untuk kepentingan tata air dan pencegahan erosi.

Tujuan pelaksanaan reboisasi, rehabilitasi lahan serta penghijauan adalah sebagai berikut :

- 1) Memperluas persediaan sumber bahan baku yang berharga bagi masyarakat;
- 2) Meningkatkan penyelamatan tanah, hutan dan air,
- 3) Menyelamatkan hasil usaha-usaha pembangunan di hilir dan dalam bidang pengairan;

Sasaran reboisasi dan penghijauan diutamakan pada daerah-daerah tanah kritis, yakni lahan yang karena tidak sesuai penggunaannya dengan kemampuan tanahnya, telah mengalami atau beberapa dalam kerusakan fisik, kimia/ biologi yang akhirnya membahayakan fungsi hidrologi dan lingkungannya. Lahan kritis tersebut bisa berupa

hutan rusak, belukar, padang alang-alang, tanah gundul atau tanah terlantar lainnya yang kelerengannya lebih dari 45%, tebing curam, jurang sepanjang sungai atau mata air dimana menurut pertimbangan teknis harus ditanami tanaman tahunan dan faktor tempat tumbuhnya memungkinkan berhasilnya tanaman.

Dalam pelaksanaan reboisasi dan penghijauan (rehabilitasi) tersebut jenis-jenis tanaman yang digunakan merupakan tanaman-tanaman pilihan yang dapat memenuhi beberapa kepentingan, seperti misalnya :

- 1) Dalam usaha merehabilitasi lahan dipilih jenis-jenis pohon yang mempunyai nilai ekonomis tinggi dan mempunyai prospek yang baik dikemudian hari.
- 2) Mempunyai pertumbuhan cepat, sehingga menutup tanah dengan cepat dan mengurangi laju erosi, bersifat pionir dalam arti kata tidak banyak meminta syarat dan tanah dan berkemampuan memperbaiki tanah.
- 3) Mempunyai perakaran yang dalam, akar serabut panjang dan rapat, sehingga merupakan sistem perakaran intensif.
- 4) Untuk daerah yang mempunyai curah hujan tinggi dipilih jenis-jenis yang mempunyai sifat evapotranspirasi besar, sedangkan daerah yang mempunyai curah hujan lebih rendah disarankan yang mempunyai sifat evapotranspirasi sedang atau kecil.
- 5) Dipilih jenis-jenis yang dapat meningkatkan/ memperbaiki kesuburan tanah, baik secara langsung maupun tidak.
- 6) Untuk pohon penghijauan di samping nilai ekonomis, perlindungan juga dapat menunjukkan keindahan bentuk.

2. Metode Teknis - Mekanis

Pengendalian erosi secara teknis-mekanis adalah usaha-usaha pengawetan tanah untuk mengurangi banyaknya tanah yang hilang. Dalam metode teknis-mekanis ini konservasi terhadap tanah jika sekaligus mengkonservasi airnya, karena kegiatan ini dapat mengontrol kecepatan aliran permukaan serta menghalangnya dan memaksa untuk mengkonservasi. Dengan demikian manfaat metode ini di samping mengendalikan erosi juga dapat memelihara jumlah dan kualitas air serta memaksimumkan manfaat air secara efektif dan efisien. Cara-cara teknis-mekanis adalah sebagai berikut :

- a. Pengaturan sistem pengolahan tanah;
- b. Pembuatan terras;
- c. Pembuatan saluran pembuangan air (*waterway*), dan
- d. Pembuatan bendungan pengendali.

a. Pengolahan Tanah

Pengolahan tanah pada dasarnya untuk menciptakan kondisi tanah yang baik untuk pertumbuhan tanaman. Dalam hal ini tanah digemburkan dengan membalik tanah menggunakan cangkul atau traktor sehingga sisa tanaman di atasnya dapat terbenam sebagai mulsa. Ditinjau dari sifat fisik tanah maka kekuatan tanah berkurang tetapi struktur dan tata erosi membaik untuk pertumbuhan.

Namun pengolahan tanah yang kurang tepat misalnya pengolahan tanah secara total pada lereng atau pembuatan guludan searah lereng (tegak lurus garis kontur) akan membawa akibat yang merugikan karena memperbesar terjadinya erosi oleh karena tanah terbuka akan lebih mudah dihancurkan oleh jatuhnya butir hujan. Demikian pula dengan lereng/ curam akan menyebabkan air terkumpul pada alur-alur/ selokan yang kemudian mengalir ke dalam dengan volume dan kecepatan yang lebih besar, sehingga tentu saja kemungkinan terjadinya erosi lebih besar.

Manusia cenderung ingin mengejar produksi yang besar sehingga mengolah tanahnya semakin intensif dalam persatuan luas tanpa mempertimbangkan prinsip-prinsip konservasi tanah dan air, sehingga lahan menurun produktivitasnya.

Untuk memperkecil kemungkinan terjadinya kerusakan tanah sebagai akibat pengolahan tanah, maka disarankan agar :

- 1) Tanah diolah seperlunya (*minimum tillage*);
- 2) Pengolahan tanah dilakukan pada saat kandungan air yang tepat (tidak terlalu tinggi atau rendah);
- 3) Pengolahan tanah dilakukan menurut garis kontur, dengan cara ini aliran akan terhalang guludan;
- 4) Pengolahan tanah hendaknya diikuti dengan pemberian mulsa yang dapat memberikan keuntungan ganda yakni memperkecil evaporasi air tanah dan memperkecil fluktuasi temperatur tanah di samping memperkecil erosi.

b. Penterasan (*Terrace*)

Tujuan utama pembuatan teras adalah untuk mengurangi pemajang lereng, sehingga dapat memperkecil aliran permukaan.

Di samping itu pembuatan teras juga memberi kesempatan air untuk meresap ke dalam tanah (infiltrasi), bahkan ada teras yang sengaja dibangun supaya tanah dapat menyimpan air. Sedangkan berdasarkan bentuk dan fungsi dikenal empat macam teras, yakni :

1) Teras Datar (*Level Terrace*)

Teras datar biasanya dibuat pada tanah-tanah dengan kemiringan kurang dari 3%, dengan tujuan untuk menahan dan menyerap air. Teras ini dibuat tetap menurut garis kontur terutama pada tanah-tanah yang mempunyai permeabilitas cukup besar sehingga tidak terjadi penggenangan atau luapan air melalui tanggul/ guludan. Teras ini dibuat sejajar dengan kontur dengan membuat tanggul yang diberi saluran baik di atasnya maupun di bawahnya. Tanah untuk pembuatan tanggul diambil dari kedua sisa tanggul (atas dan bawah). Tanggul yang sudah jadi sebaiknya ditanami rumput untuk menjaga kestabilannya. Teras datar biasanya dibuat pada tempat-tempat dengan curah hujan yang rendah dan mudah menyerap air.

2) Teras Kridit (*Ridge Terrace*)

Teras kridit umumnya diterapkan pada tempat-tempat yang tanahnya sulit menyerap air, dengan kemiringan 3 - 10% dan curah hujannya tinggi.

Pembuatan teras ini dimulai dengan membuat jalur penguat teras guludan sejajar garis kontur dan ditanami tanaman penguat teras yang mampu menahan sedimen hasil erosi yang tertimbun di selokan, sehingga permukaan tanah atas turun dan bagian bawah dekat jalur tanaman akan naik.

Tanaman penguat teras sebaiknya dibuat rapat, namun apabila tidak mungkin maka guludan sebaiknya ditanami rumput atau diberi batu.

3) Teras Pematang (*Contour Terrace*)

Teras pematang biasanya dibuat pada tanah-tanah dengan kemiringan antara 10 – 40 % dengan tujuan untuk mencegah hilangnya lapisan tanah. Teras pematang adalah suatu teras berbentuk pematang, dibuat sejajar garis kontur, berjajar dari atas ke bawah dengan kemiringan sekitar 0,1% ke arah saluran pembuangan air (*waterway*). Di lapangan dengan kemiringan antara 20 - 40% pembuatan teras pematang dapat disertai dengan penanaman tanaman penguat pematang yang disertai penanaman rumput atau pemberian batu pada pematang tersebut.

4) Teras Bangku (*Bench Terrace*)

Bentuk teras bangku menyerupai bangku, mirip dengan petakan sawah yang bertingkat-tingkat. Bedanya hanya terletak pada bidang olahannya yang agak miring ke dalam karena tidak memerlukan genangan air. Teras bangku dibuat pada tanah tanah dengan kemiringan 15 – 50%.

Teras bangku memiliki bidang olah yang dibuat miring kurang lebih 3% ke arah dalam yang juga dilengkapi dengan parit pembuangan air (*waterway*). Jarak maksimum antar pembuangan air adalah 100 m.

c. Saluran Pembuangan Air

Untuk menghindarkan agar air aliran permukaan tidak terkumpul pada sembarang tempat, yang tentu saja akan merusak tanah yang dilaluinya, maka perlu disiapkan/ dibangun saluran-saluran pembuangan air (*waterway*). Dimana saluran dibangun menurut arah lereng dan merupakan saluran diversifikasi (peralihan ke suatu aliran) dan saluran air yang ada di dalam teras.

Saluran diversifikasi sendiri bertujuan untuk menangkap air aliran permukaan dan membelokkannya ke saluran pembuangan, gunanya untuk mengamankan areal di bagian bawah atau sekitarnya, sebaiknya tebing saluran diberi tanaman penguat atau rumput.

Bentuk penampang saluran pembuangan biasanya segitiga, trapesium atau parabolik. Agar dasar dan tebing saluran tidak cepat terkikis air, maka disarankan agar dasar dan tebing saluran ditanami/ diperkuat dengan gebalan rumput. Metode ini terkenal istilah *Grass Raterway* atau *Vegetated Waterway*. Utomo (1982) membuktikan bahwa rumput gajah sangat efektif dalam melindungi dasar dan tebing saluran pembuangan dari kikisan aliran air. Jika kelerengan sangat curam, maka saluran pembuangan harus dilengkapi dengan trucus dan bangunan penerjun (*drop structure*), Bangunan penerjun ini dapat dibuat dari batu atau dapat juga dibuat dari lembaran logam atau bangunan permanen dan beton.

d. Bendungan Pengendali

Bendungan pengendali atau *Chech Dam* adalah waduk kecil dengan konstruksi khusus yang dibuat di daerah berbukit dengan lereng aliran yang cukup curam. Bangunan ini bertujuan untuk mengurangi kecepatan dan menampung air aliran permukaan dan sedimen hasil erosi, meningkatkan jumlah air yang meresap (infiltrasi) ke dalam tanah.

Adapun bendungan pengendali, maka keuntungan-keuntungan yang dapat diperoleh antara lain adalah :

- 1) Dapat menyediakan air selama musim kemarau, terutama di daerah-daerah yang tandus;
- 2) Dapat memperluas areal sawah dengan cara meningkatkan fungsi saluran pembagi menjadi saluran irigasi terutama selama musim hujan.

- 3) Sebagai sarana perikanan; dan
- 4) Dapat meningkatkan nilai estetika daerah yang bersangkutan.

Pada daerah pegunungan dimana banyak terdapat kelerengan yang curam, sehingga aliran permukaan mempunyai kecepatan mengalir yang cukup membahayakan terutama bahaya erosi dan banjir pada bagian bawahnya (hilirnya), maka perlu dibuatkan suatu bangunan penghalang kecepatan aliran air baik dalam bentuk *check dam* atau pun hanya berupa tumpukan kayu atau batu agar kecepatan aliran air dapat dikurangi atau ditampung untuk sementara waktu.

3. Metode Kimiawi

Metode ini meliputi tindakan penggunaan bahan-bahan kimia atau usaha penambahan bahan kimia ke dalam tanah untuk memperbaiki sifat tanah, terutama kemantapan struktur tanah sehingga tanah menjadi lebih resisten. Penggunaan *Soil Conditioner* Rohagit S. 7366 (di Jerman Barat) yaitu senyawa garam Kalsium-nutrium suatu kopolymer dari Methacrylacid dan Methacrylacidmethylester, telah menunjukkan hasil positif terhadap perbaikan struktur tanah. (Sutedjo, 1991).

Arsyad (1980) mengemukakan bahwa pada tahun 1952 Monsanto Chemical Company telah membuat *Soil Conditioner* dengan merek dagang "Krilium" yang berbentuk senyawa garam natrium dan polyacrylonitrile yang terhidrolisa.

Di samping kemampuannya untuk meningkatkan kemampuan dan kemantapan agregat dan porositas tanah, penggunaan *Soil Conditioner* juga terbukti mampu meningkatkan hasil tanaman. Di samping itu, keuntungan lainnya adalah bahwa pengaruhnya mampu bertahan lama karena senyawa tersebut tahan terhadap serangan mikroba tanah.

Sejalan dengan perkembangan penelitian, maka *soil conditioner* tidak hanya memberikan penekanan pada pemantapan agregat semata, namun mempunyai sifat lain :

- a. Mempunyai sifat yang adhesif serta dapat bercampur dengan tanah secara merata.
- b. Dapat merubah sifat hidrophobik atau hidrophilik tanah, yang dengan demikian dapat merubah kurve penahanan air tanah.
- c. Dapat meningkatkan kapasitas tukar kation tanah, yang berarti mempengaruhi kemampuan tanah dalam menahan unsur hara.
- d. Daya tahan sebagai pemantap tanah harus cukup memadai, tidak boleh terlalu singkat atau lama.

e. Tidak boleh bersifat racun (*phytotoxin*) dan harus murah harganya.

Berbagai macam *soil conditioner* diperdagangkan dengan berbagai merk misalnya: Curasol AE, AH; Hum PAM, Bitumen, PRB 2006, Petroset SB dan lain-lain.

Adapun cara pemakaiannya dengan mencampurkan air 1: 3 kemudian disemprotkan di permukaan tanah, dapat juga sambil disemprot tanah diolah atau dicangkul. Pemakaian *soil conditioner* dapat juga dilakukan hanya pada lubang-lubang tertentu yang dipersiapkan untuk ditanami tanaman (biasanya tanaman tahunan saja).

Kalau kita memperhalikan metode-metode di atas dan kemudian menghubungkannya dengan anjuran-anjuran CH Coster (1940) dalam "*Landvernieling en Bodertbeschietming in Nederlanndsche Indie*" harusnya sudah sejak dahulu metode-metode itu disuluhkan kepada para petani kita sehingga terdapat kesadaran untuk memperbaiki tanah-tanah yang kritis melalui anjuran-anjuran yang praktis yang dikemukakan oleh Coster, sehingga faktor antropogen (manusia) tidak lagi melakukan tindakan atau perlakuan-perlakuan yang keliru yang lebih memperhebat kekritisannya tanah.

Anjuran-anjuran Coster tersebut antara lain berbunyi demikian :

- a. Tanah-tanah yang tidak cocok untuk pertanian seperti : lereng gunung yang curam, lapisan tanah yang subur yang kedalamannya sangat tipis dan di atas padas atau batu, tanah berkapur yang mudah longsor, perlu dihutankan;
- b. Tanah-tanah kering yang mempunyai kemiringan perlu disengket (teras), lakukan pengolahan tanah secara minimal, diatur secara berkotak-kotak bagaikan kotakan sawah untuk mengurangi aliran permukaan dan erosi;
- c. Tanah-tanah di daerah yang banyak curahan hujannya dan dengan kemiringan tinggi, tindakan penyengkadan/ terrasering belum mencukupi tetapi perlu dibantu dengan dibuatkannya saluran pelepas air yang memanjang lereng, terjunan airnya perlu diperkuat dengan bambu, batu dan rumput-rumputan berakar kuat;
- d. Tanah-tanah perkebunan yang digunakan untuk menanam tanaman keras perlu dibuatkan selokan buntu/lubang penampung air di antara pohon-pohonnya, untuk menampung air hujan dan partikel-partikel tanah yang terangkut air hujan, apabila telah penuh segera dibuatkan yang baru. Selokan buntu tersebut selain berfungsi sebagai penghambat atau penahan erosi, juga apabila terpenuhi daun-daunan dan tanah akan menjadi sangat subur;

- e. Pada tanah-tanah perkebunan yang digunakan penanaman tanaman keras, teh, kopi, karet, kelapa, buah-buahan dan lain-lain, cara penyiangan bersih (*clean weeding*) agar dihindari, jangan sampai tanah-tanah tersebut dibiarkan terbuka;
- f. Pada tanah-tanah perkebunan seperti di atas lakukan tindakan penanaman tanaman penutup tanah di antara pohon-pohonnya, terutama dengan tanaman-tanaman pupuk hijau atau rumput-rumputan yang tidak berbahaya bagi tanaman pokok;
- g. Pada tanaman-tanaman yang mempunyai kemiringan yang petaninya kurang mampu membuatkan sengkedan-sengkedan, dianjurkan menanam tanaman pupuk hijau secara berlarik memotong lereng, dengan jarak di antara larikan 2 sampai 4 meter tergantung pada tingkat kemiringan tanah itu. Serasah atau sisa-sisa tanaman dan rumput-rumputan gunakan sebagai mulsa di antara tanaman-tanaman pupuk hijau itu, agar lumpur dapat tertahan lama, cara ini pun baik untuk meningkatkan kesuburan tanah.

Program-program Manajemen Lahan Hutan pada Daerah Aliran Sungai

Penutupan vegetasi hutan adalah faktor penting dalam manajemen Daerah Aliran Sungai (DAS), pertama karena merupakan penahan antara curah hujan dan aliran menuju sungai dan kedua merupakan penangkap air itu sendiri dalam jumlah yang besar.

Hutan memiliki komposisi yang terdiri dari daun-daun, ranting-ranting, dan cabang-cabang yang merupakan bagian dari pada pohon yang dapat menahan tetesan air dan air yang akan mengalir ke bawah. Termasuk vegetasi-vegetasi yang berupa semak belukar dan semua tumbuhan bawah yang hidup merupakan penghambat yang dapat menangkap dan memperlambat cucuran air hujan. Di bawah ini diungkapkan bahwa pada hampir beberapa hutan lebat adalah hambatan yang kedua, dimana serasah tumpukan bahan-bahan yang melapuk akan menyimpan cukup air dan akan melarutkan bahan-bahan yang tersisa ke dalam tanah. Tanah hutan adalah hambatan yang ketiga, berupa penangkap dari suatu jalur dimana air harus melalui celah-celah (lorong) untuk mencapai saluran sungai.

Setelah melalui rintangan ini, maka aliran hujan akan tertahan pada tajuk, pada daun-daun cabang-cabang. Sebagian di antaranya tertangkap pada serasah dan sisanya masuk ke dalam tanah. Pada musim dingin, hujan turun dalam bentuk salju dan juga akan tertangkap oleh tajuk. Butiran salju yang jatuh dan menyusup pada tajuk juga akan mencair, atau bertumpuh pada lantai hutan. Pada penguapan yang berasal dari tanah dan vegetasi sangatlah minim pada musim salju. Hampir semua cairan es akan mengalir pada

permukaan menuju ke tempat-tempat penampungan air dan aliran sungai. Pencairan ini tergantung pada beberapa faktor iklim dan faktor-faktor topografi serta tingkatan naungan yang disebabkan oleh vegetasi. Pada daerah yang beriklim panas, hujan juga mempunyai fungsi (proses) yang sama, tetapi disesuaikan terhadap faktor-faktor iklim, terutama terhadap pengaturan kelembaban. Pada hutan hujan tropis banyak hal yang terkait pada terjadinya hujan, tetapi mungkin hampir tidak begitu banyak serasah/humus pada lantai hutan, karena aktivitas mikroorganisme dan rayap. Pokok pembicaraan pada hutan Tropis dan subtropis tertuju pada pergantian musim panas dan penghujan yang mungkin menghasilkan beragam/ bercampurnya pohon-pohon, belukar dan rerumputan, yang berpindah kehidupannya dengan dimulai pada musim penghujan dan tetap mempertahankan kehidupannya pada suhu yang cukup panas di musim kering.

Di sini kemudian kita akan menggambarkan secara singkat fungsi pelindung dari Daerah Aliran Sungai (DAS) dari suatu hutan. Rintangan (hambatan-hambatan) akan dikemukakan kembali dan pergerakan air yang bebas pada permukaan lantai hutan secara berkelanjutan meyakinkan bahwa curah hujan tidak akan mengalir secara cepat menuju ke sungai. Air yang tidak diketahui keberadaannya berada dalam jumlah besar yang selanjutnya diupkan pula dalam jumlah yang besar baik yang berasal dari air yang tersimpan dalam tanah maupun yang berasal dari aliran sungai. Dan pada naungan hutan salju akan mencair secara perlahan, di sini kembali kecepatan aliran permukaan diperlambat.

Fungsi perlindungan ini digambarkan pada seluruh tutupan hutan. yang dibedakan tingkatannya tipe, kondisi dan umur. Fungsi ini jelas begitu luas, sehingga pengaruh-pengaruh yang menguntungkan bagi kecukupan aliran sungai diyakini cukup lama oleh orang konservasi hutan. Pada daerah beriklim panas dengan kondisi setengah kering vegetasi hutan yang sudah mencapai tingkat kematangan, maka digambarkan cukup berat dalam pemanfaatan air dikarenakan kemungkinan kompetisi penggunaan air yang lainnya. Secara umum dapat dikatakan bahwa bagaimanapun juga hutan akan memberikan pengaruh yang menguntungkan bagi aliran sungai.

Perbedaan tingkat perlindungan dinyatakan pada tingkat perbedaan kondisi hutan yang tidak mudah untuk diamati meskipun semua keterangan-keterangan yang akan menghilangkan beberapa fungsi ini pada penutupan yang tingkat kerapatannya berkurang. Kebakaran, serangan penyakit dan serangga serta rerumputan juga akan mengurangi tingkat kerapatan hutan itu, serta dari pengaruh

susunan (letak) hutan pada penerimaan hujan. Begitu juga kelebihan penebangan hutan dari tegakan hutan serta penebangan di bawah batas diameter minimum tebangan dapat berakibat daerah itu tidak potensial sebagai daerah perlindungan.

Hingga saat ini, manajemen hutan dalam program-program DAS memiliki masalah luas yang penekanannya pada fungsi-fungsi perlindungan. Hanya saja kemungkinan pengelolaan air yang dihasilkan (debit) diberikan sebagai bahan pertimbangan hingga saat ini, kemungkinan-kemungkinan tersebut masih mempunyai bukti-bukti (dasar) yang masih terbatas dan masih terpisah pisah tentang penutupan hutan dan pengurangan kegiatan penebangan hutan dapat meningkatkan total air yang dihasilkan (debit).

Fungsi perlindungan dan fungsi penyuplai air dalam penerapan praktis, serta penekanan terhadap banjir, pengendalian erosi dan peningkatan perolehan air (debit) secara terus menerus. Hasil penelitian belum memberikan rekomendasi secara rinci pada tujuan-tujuan yang ingin dicapai. Bagaimana pun juga ada beberapa informasi yang terpisah pisah dari praktek pengolahan lahan hutan saat ini, terutama di daerah yang beriklim sedang. Hasil penelitian ini akan menyajikan beberapa latar belakang sebagai bahan diskusi teknik-teknik manajemen hutan dalam program pengelolaan daerah aliran sungai (DAS).

A. Manajemen Lahan Hutan dan Fungsi Perlindungan

Kita mulai dengan, apakah dampak-dampak dari reboisasi (penghutan kembali) terhadap banjir dan pengendalian terhadap erosi? Kemudian dengan tegakan yang sudah matang (masak), dampak-dampak apakah yang ditimbulkan pada kegiatan pemanenan hasil-hasil hutan ? Serta apakah dampak-dampak dari kebakaran, kerusakan akibat serangan penyakit dan serangga.

Kegiatan reboisasi (penghutan kembali) : Dampak-dampak dari kegiatan reboisasi pada daerah-daerah aliran sungai dan daerah penimbunan (pemupukan) diperoleh perbedaan secara jelas yang sangat tergantung pada kondisi DAS saat kegiatan penanaman. Sebagai contoh penanaman pohon sejumlah lebih dari 1.000.000 pohon pada daerah yang tererosi dengan DAS seluas 88 acre di lahan dan hutan yang berfungsi sebagai pengendali terhadap erosi, terjadi perubahan penurunan cukup besar yaitu dari 1/3 hingga 1/4 setelah dilakukan perlakuan. Aliran permukaan menurun dari 69 % dari total aliran menjadi 44 %.

Kegiatan reboisasi pada daerah yang sama dengan DAS yang lebih besar yaitu 1.715 acre yang 1/3 bagiannya telah ditanami, dimana pengukuran terhadap erosi terjadi pula perubahan penurunan. Dua belas tahun setelah perlakuan pada DAS yang cukup luas. Erosi yang terjadi tidaklah begitu tampak hasil penimbunan pada DAS yang lebih kecil tiga hingga 4 tahun setelah perlakuan, dapat menurun hingga 90 %.

Dari hasil 2 studi tersebut dapat disimpulkan bahwa pada daerah yang beriklim sedang. Aktivitas reboisasi dan program penanggulangan erosi dalam suatu DAS yang kurang vegetasi perlindungan dapat mengurangi tingkat perubahan panas dan pengendalian terhadap erosi serta mengurangi terjadinya penimbunan. Waktu yang dibutuhkan akan tergantung pada intensitas pengukuran dari pengendalian erosi dan waktu terjadinya penutupan dari tajuk-tajuk pohon. Penanaman dengan jarak tanam 6 x 6 dengan sebagian besar jenis Conifer akan tertutup 7 hingga 15 tahun, dengan demikian tanah akan terlindungi sebagian dari akibat hujan dan yang lebih penting yaitu dapat menaungi dan menurunkan temperatur serta peningkatan perlindungan terhadap serasah di tanah. Reboisasi melalui kegiatan penanaman pohon dan memberikan kesempatan hidup dari hewan-hewan, dapat diadapkan mempengaruhi aliran permukaan dan erosi tanah di daerah panas yang agak kering seperti yang terdapat pada daerah sekitar laut tengah dan belahan bumi lainnya. Di sini hujan merupakan pembatas pada situasi seperti itu. Penanaman hutan (reboisasi) pada DAS yang akan mengurangi total aliran permukaan tidak diungkapkan pada penelitian ini. Umumnya yang ingin dicapai beberapa areal berupa pengendalian terhadap erosi.

B. Kegiatan Pembalakan

Kegiatan pemanenan hasil hutan (pembalakan) akan mempunyai dua dampak terhadap DAS. *Pertama*, pengurangan terhadap jumlah penutupan hutan, penebangan mengurangi intersepsi dan penguapan. Tidak banyak hujan yang dapat ditangkap oleh dedaunan dan cukup besar pula penguapan dari dalam tanah saat musim panas, dan oleh karena itulah banyak air yang mengalir ke sungai. *Kedua*, pada proses yang dimulai masuk ke dalam hutan, penebangan pohon-pohon dan pengeluaran kayu-kayu, areal menjadi sangat terganggu, tanah menjadi padat, dan kondisi ini menjadikan sarana bagi berlangsungnya aliran permukaan. Belum ada hasil penelitian yang dirancang semata-mata untuk menunjukkan dampak-dampak perbedaan jenis-jenis atau tingkatan penebangan pada perubahan dan penimbunan yang terjadi. Pada beberapa peneliti tentang DAS dan penelitian-penelitian tanah

diperoleh suatu kesimpulan tetapi sifatnya hanyalah sebagai suatu kesimpulan yang bersifat deduktif.

Sebagai contoh pada laboratorium hidrologi Coweeta di bagian barat North Carebia. USA, dimana badai yang terjadi tidak menambah kegiatan penebangan semua pohon-pohon dan semak-semak pada daerah DAS. Pohon-pohon yang jatuh pada tempat ini serta halangan dari serasah tetap dapat menahan untuk mengurangi terjadinya aliran. Di sini hujan yang turun hampir seluruhnya akan menjadi bentuk aliran permukaan. Pada penelitian di Waron Wheel Gap Colorado, hampir sama dengan kegiatan penebangan pada DAS yang dapat mengurangi intersepsi salju dan berkurangnya naungan terhadap terpaan salju. Pencapaian yang begitu cepat menjelang musim panas berkisar 50 persen. Dua peneliti Jepang melaporkan peningkatan sebesar 20% dan besarnya kisaran aliran permukaan ini sebagai dampak dari tebang habis dan pengalihan dari penggunaan hasil hutan.

Perubahan akan meningkat dengan kegiatan tebang habis Hal ini dikarenakan tidak adanya gangguan tanah, tidak ada penimbunan salju, dan permeabilitas tanah yang dalam. Perubahan yang terjadi tidak meningkat. Kisaran perubahan sepertinya dapat juga meningkat oleh penebangan yang hanya sebagian. Pada DAS yang beriklim panas dan agak kering, menunjukkan hubungan yang sangat tinggi antara kerapatan semak serta tingkat perubahan yang terjadi.

Pada beberapa penelitian DAS secara terpisah disajikan beberapa bukti dari dampak-dampak kegiatan pembalakan. Tak seorang pun dalam kegiatan ini mengadakan penelitian pada kondisi tropis akibat serupa dari kegiatan *logging* diperkirakan akan mempercepat aliran permukaan dan erosi. Pada beberapa plot penelitian lainnya dan pengujian kualitas air yang dibuat pada daerah yang beriklim sedang menjanjikan sekumpulan informasi. Sebagai contoh indikasi dari dampak pembalakan berupa peningkatan total area yang terganggu. Secara umum dengan pembalakan secara mekanik, maka jalan-jalan sarad mengurangi sekitar 20% dari luas areal tetapi total area ini akan semakin lebih meningkat dengan perpindahan peralatan ini serta akan semakin memadatkan tanah yang mungkin naiknya hingga 40%. Survei pada beberapa areal penebangan, menunjukkan bahwa lebih dari 10% terjadi penggundulan lapangan selama kegiatan pemanenan. Kerusakan areal bervariasi sesuai dengan metode pembalakan yang digunakan. Traktor-traktor umumnya mengakibatkan kerusakan yang cukup serius. Salah satu penelitian dikatakan bahwa tingkat kerusakan tanah dengan traktor, sistem kabel dan dengan kuda sebesar 21,15 dan 12%.

Lokasi yang miskin hara dan konstruksi jalan-jalan pembalakan akan menjadikan sumber terjadinya endapan. Pada hutan peraga Fernow di sebelah Barat Virginia, USA, dengan tingkat hujan yang cukup tinggi, pada tahun pertama erosi pada jalan sarad berkisar dari 0,4 inch hingga 1,2 inch, tergantung pada panjang lereng dan tanjakannya. Dewasa ini kelebihan penebangan pada DAS, endapan mencapai 50.000 ppm setelah adanya kekuatan angin yang cukup dimana pengukuran yang dilakukan sebelum pembalakan mencapai 27 ppm.

Di North Carolina, USA, pada daerah pegunungan dengan curah hujan yang cukup tinggi, aliran permukaan dari DAS yang lebih kecil dengan penebangan tanpa diikuti pemeliharaan, kekerutan maksimum mencapai 7.000 ppm, yang jika dibandingkan dengan DAS yang tidak terganggu berkisar 80 ppm. Setelah lebih dari 4 tahun tanah yang hilang sebanyak 6.850 cubic yard, sejauh 2,3 mil dari jalan.

C. Dampak Kebakaran, Serangan Penyakit dan Serangga

Dampak-dampak dari kebakaran, serangan penyakit dan serangga pada tegakan hutan memiliki penekanan hal-hal yang serupa pada kegiatan penebangan dalam memberikan respek terhadap evapotranspirasi. Perbedaan utama gangguan yang ditimbulkannya adalah pada lantai hutan dan keterbukaan tanah untuk terjadinya erosi. Hal ini tergantung pada tingkat kebakaran itu sendiri atau serangan penyakit dan serangga. Dampak-dampak pada hampir keseluruhan kebakaran dilaporkan berasal dari semak belukar pada suatu DAS yang kondisinya agak kering dengan perbedaan yang tegas antara musim hujan dan panas (keringnya). Sebagai akibatnya sering sekali terjadinya banjir yang mengendapkan lumpur yang dapat merugikan. Pada daerah yang lebih lembab iklimnya, vegetasi yang habis pada lantai hutan tidak begitu banyak, dan dampak-dampak yang ditimbulkan tidak segera terjadi serta tidak jelas terlihat. Pada penelitian di California menunjukkan bahwa kebakaran yang berasal dari semak belukar pada suatu DAS akan berakibat meningkatnya perubahan pada beberapa waktu dan dampaknya masih terlihat setelah waktu 5 tahun. Juga belum dilakukan penelitian tentang dampak-dampak serangan serangga dan penyakit dari perubahan-perubahan yang ditimbulkannya. Jika serangan yang terjadi meluas, kecil kemungkinan untuk meningkatkan harapan yang diutamakan. Kehadirannya merupakan penyakit yang menyebabkan tertidur dan berakibat fatal bagi hewan-hewan ternak (penggembalaan). Pembersihan dari serangan serangga ini diharapkan dapat memperluas

areal penggembalaan. Hanya saja konsekwensi dari pembersihan semak belukar tentunya akan merugikan penanganan terhadap daerah aliran sungai (DAS).

Dampak-dampak kegiatan yang bertujuan untuk meningkatkan debit air telah memberikan hasil yang cukup cerah. Salah satu yang dapat diharapkan berupa dampaknya dalam menghasilkan debit air. Hampir serupa pada kegiatan pembalakan, tetapi hal ini tergantung pada jumlah vegetasi yang mati dibandingkan jumlah yang tumbuh. Intensitas kebakaran dapat menghilangkan air lebih besar dari faktor-faktor lainnya sehingga dapat mematikan semua vegetasi.

Rangkaian kejadian tersebut dapat menghentikan efektifitas penguapan serangan serangga dan penyakit memerlukan kegiatan pemeliharaan yang lebih selektif, terutama terhadap tegakan campuran yang nantinya akan berpengaruh terhadap transpirasi dan air yang dihasilkan. Pengaruh terakhir akan tergantung pada kayu-kayu berharga apakah cukup besar jumlah yang mati dan yang dapat diselamatkan pada kegiatan pembalakan nantinya serta dampak tambahan pada aliran permukaan dan kualitas terhadap air.

Pada daerah yang mempunyai batas tegas antara musim penghujan dan panas, terutama didaerah tropis, kebakaran mempunyai dampak yang cukup kuat terhadap lahan hutan. Perubahan penutupan vegetasi di musim kering, kebakaran akan mempercepat proses aliran permukaan terutama saat musim hujan yang cukup berat.

Ditambahkan pula bahwa faktor klimatologi setelah terjadinya kebakaran tentunya akan memperkecil proses regenerasi hutan dan pengaruh dari kebakaran ini yang terutama justru akan memacu perkembangan dari alang-alang.

D. Manajemen Lahan Hutan dan Debit Air

Dampak dari manajemen dari lahan hutan dan air yang dihasilkan (debit) melalui perubahan evapotraspirasi secara bersama sama pada perubahan kerapatan vegetasi dengan perbedaan sarad-sarad airnya. Batas perubahan dalam evapotraspirasi ditentukan oleh faktor iklim (total suplai air dan energi panas pada kegiatan evatranspirasi) dan kedalaman tanah.

Perbandingan dari aliran dengan DAS yang tidak terpengaruh ditunjukkan rata-rata tahunan aliran sungai bertambah dari 2.23 inchi setelah seluruhnya dihilangkan. Kematian pohon mencapai kira-kira 60% dari daerah serangan dan di beberapa tempat ada pelindung yang baik dari hutan muda.

Pengurangan dari penutupan hutan akan mempengaruhi intersepsi dan akan menurunkan penguapan pada permukaan, penurunan kelembaban dan akan memperbesar air yang mengalir menuju aliran sungai. Sebagai contoh klasik dapat dikemukakan bahwa dari tebang habis pada DAS dan akan menurunkan pertumbuhan tunas-tunas setiap tahunnya, sehingga pada tahun pertama akan meningkatkan jumlah air hingga mencapai 17 inchi, dari 3 hingga 13 tahun tingkatannya dapat mencapai hingga 11 inchi. Penurunan kegiatan penebangan secara dratis. Pada tanah-tanah yang rendah akan hara pada suatu DAS dan dengan adanya lamanya pertumbuhan pada beberapa musim akan semakin memberikan berbagai variasi jawaban dari semua perbedaan.

Dampak dari kegiatan setelah penebangan dengan demikian tergantung pada banyaknya faktor. *Pertama*, dampak dari air yang dihasilkan (debit) relatif akan dipengaruhi oleh keadaan tegakan dalam menahan air yang tentunya kembali akan dipengaruhi oleh iklim, hujan, dan kedalaman tanah. (Hadisusanto, 2020)

Pada kondisi suplai air hujan yang cukup memadai akan dapat mengimbangi terjadinya evatranspirasi. Evatranspirasi yang potensial dapat berkisar kurang dari 18 inchi pada pegunungan tinggi yang dingin dan meningkat lebih dari 60 inch di daerah padang pasir yang panas.

Dengan tipe-tipe hutan ini kedalaman tanah pada dataran tinggi akan berpengaruh terhadap kehilangan akan kelembaban. Kehilangan akan lebih besar dari hasil pengalaman pada tanah-tanah yang lebih dalam. Dalam keadaan dingin yang kondisinya agak kering, kelembaban tanah akan berkurang pada akhir musim pertumbuhannya hingga sebesar 8 inchi di bawah penutupan tanaman perdu dan mencapai 11 inchi di bawah pohon-pohon yang berdaun ringan tajuknya, kembali perbedaan dari kedalaman perakaran, pada tanah yang kering mencapai 6 *feet* pada areal yang terbuka, 9 *feet* di bawah pohon-pohon pinus tingkat pancang, 12 *feet* di bawah tegakan pinus yang sudah matang.

Sangat sedikit diketahui dampak-dampak dari sebagian kegiatan penebangan pada air yang dihasilkan (debit). Pada penelitian di Jepang saat ini dilaporkan bahwa kegiatan tebang pilih yang hanya 45% volumenya dari tegakan Sproce fiir yang ditebang, aliran air ke sungai meningkat 4,7 inchi (pada daerah dimana curah hujan tahunannya sekitar 55 inchi). Peningkatan ini sebesar 1,2 inchi pada musim panas dan 3,5 inchi pada musim dingin. Bukti-bukti ini menunjukkan bahwa penebangan yang berat akan mengakibatkan peningkatan

yang cukup besar, di sini proporsi dari volume tegakan tidak mampu untuk meningkatkan air yang dihasilkan. Sistem tumpang tindih dari perakaran tegakan hutan akan menanggulangi kondisi ini. Pada kondisi ini akan terjadi pergerakan, tetapi beberapa pohon hama akan mengalihkan dalam jumlah yang sedikit dalam memanfaatkan kelembaban tanah sebatas jaringan jaringan akar yang ada.

Beberapa pertukaran vegetasi riparian yang mulai diungkapkan bahwa air yang dihasilkan dapat ditingkatkan melalui pertukaran pada suatu areal saat terjadi musim hujan, dan pada saat temperatur udara cukup tinggi pada priode-priode tanpa hujan.

Peningkatan air yang hilang dari kegiatan pembalakan akan berkurang menurut waktu. Di Coweetn, 70% menunjukkan peningkatan setelah kegiatan tebang habis dalam kurun waktu 15 tahun dapat dicapai 14 inchi yang sebelumnya hanya 10 inchi. Tebangan penerangan (jeretan) akan berdampak dalam waktu yang relatif singkat, peningkatan hasil sebesar 2,8 inchi pada tahun pertama dan dalam perjalanannya diperkirakan tidak menimbulkan dampak yang berarti setelah 10 tahun.

1. Reboisasi

Reboisasi akan meningkatkan kerapatan vegetasi, dan dapat merubah distribusi jenis. Perubahan secara tiba-tiba dan air yang dihasilkan tidak dapat diharapkan sejak satu atau dua tahun dari persedian yang lama. Dengan penanaman 6 x 6 diharapkan agar salurannya baik untuk mengatur kelembabannya. Akar-akar tanaman (anakan) akan menembus daerah terbuka hingga kedalaman satu sampai dua *feet*, evatranspirasi akan terus berlangsung dan akan semakin meningkat pada tanah-tanah yang terbuka, dan air yang dihasilkan juga akan menurun. Jika penanaman vegetasi yang cukup bersaing, akan berdampak pada air yang dihasilkan. Dan tentunya akan bergantung pada luasnya jangkauan penakaran yang pada akhirnya yang akan menempati lebih dalam dari penutupan vegetasi yang ada. Pada tanah-tanah yang dalam, penanaman ini memerlukan beberapa tahun untuk mencapai kedalaman tanah tersebut setelah vegetasi itu benar-benar matang. Di hutan, pinus yang berumur 18 tahun akan mempunyai akar-akar hingga kedalaman 9 *feet* dimana bila sudah mencapai tingkat yang matang dapat mencapai kedalaman 12 *feet*. Pada contoh ini diambil antara 20 dan 30 tahun bagi tegakan muda untuk mengatur kelembaban yang dapat digunakan pohon-pohon yang lebih tua. Pada kondisi tanah dan hujan yang baik hutan tropis dapat diharapkan untuk memberikan pengaruh dalam waktu yang pendek.

Reboisasi biasanya terdiri dari jenis-jenis konifer, untuk jenis daun lebar yang menggugurkan daun jarang berhasil dalam penanaman. Di hutan tropis, penanaman seperti jati harus dilakukan. Jenis-jenis konifer memberi perlindungan yang lebih baik dari pada kayu keras di bawah kebanyakan kondisi. Intersepsinya lebih besar dari hujan dan salju dan memberikan naungan temperatur air tanah. Mungkin juga penguapannya lebih besar sebab tajuknya lebih besar; bekas-bekas salju yang panjang dalam tanah. Jenis jenis konife juga mudah terpengaruh oleh serangan serangga dan penyakit.

2. Teknik-teknik Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS)

Pada bagian terdahulu digambarkan beberapa pengaruh reboisasi dan *logging* terhadap aliran sungai seperti juga pengaruh kerusakan yang disebabkan kebakaran, serangga dan penyakit. Dengan latar belakang ini ditambah beberapa studi dari perlakuan terhadap hutan dan hasil air, beberapa hal dapat dianjurkan untuk (1) lebih baik mengendalikan pengaruh air (2) hasil air yang lebih besar.

Dua hal tersebut digunakan secara terpisah, secara umum mempergunakan prinsip-prinsip secara terpisah, pengendalian keperluan pengaruh air yang maksimum pada vegetasi penutup untuk intersepsi dan evapotranspirasi : hasil air yang besar, perbedaannya harus ditentukan oleh penurunan intersepsi dan evapotranspirasi penutupan kualitas air.

Pengaruh terhadap kualitas air tidak mudah dijelaskan. Penebangan hutan produksi memerlukan sistem jalan untuk memindahkan dengan kehadiran tanah kosong dan memudahkan aliran permukaan dan erosi tak kurang penggabungan dengan hutan lindung untuk tujuan DAS dari pada pembuatan jalan terus dilakukan dengan tidak mengganggu penutupan. Secara nyata sistem jalan dibuat minimum. Pengaliran akan dilokasikan seperti *run off* dengan pengangkutan lumpur tak akan mengalir ke sungai dan perlengkapan akan dibuat untuk menstabilkan tanah setelah jalan diperbaiki.

3. Teknik-teknik Perlindungan

Perlindungan DAS menghendaki, pertama pengendalian penebangan kebakaran dan pengembalaan hutan. Pada kebanyakan kasus pengendalian diperlukan untuk memberi kesempatan perbaikan dari kerapatan penutupan vegetasi hutan. Kedua hal tersebut diperlukan untuk memperkuat keberadaan penutupan melalui reboisasi. Di bawah kondisi aliran permukaan dan erosi lebih banyak penanaman pohon-pohon tidak akan cukup. Struktur pengendalian erosi mungkin diperlukan untuk mengurangi aliran permukaan dan membiarkan

perkembangan vegetasi. Pertumbuhan tanaman tahunan yang cepat telah ditunjukkan dan pertumbuhan yang baik pada DAS bekas kebakaran dapat menguasai lahan sampai perkembangan penutup yang lebih permanen.

Tidak ada bukti bahwa perlindungan yang mutlak menghendaki keberhasilan yang nyata dari fungsi perlindungan hutan. Kemungkinan evapotranspirasi hutan sedikit dipengaruhi oleh sistem-sistem cahaya penebangan diawasi secara hati-hati untuk mencegah gangguan aliran permukaan yang membawa endapan ke sungai.

Tebang pilih juga mengurangi evapotranspirasi tapi hal ini tak seimbang dengan volume kehilangan tegakan. Untuk menghilangkan dipilih pohon-pohon Nancy membuat air tanah lebih berguna pada tegakan tinggal, hal itu benar pada situasi kebanyakan hutan. Selama musim pertumbuhan pohon-pohon jarang mempunyai kesempatan untuk melakukan transpirasi sebanyak yang didapat dari tebang penebang mungkin hanya berhasil dalam memenuhi bantuan permintaan air pada bekas-bekas pohon-pohon tersebut.

Ada 2 aturan dalam pembuatan jalan, *pertama*, mengenai lokasi jalan dalam hubungannya dengan sungai. Mulai dengan lebar jalur 25 *feet* pada lahan yang datar, lebar jalan akan bertambah 2 *feet* setiap pertambahan *slope* 1% pada lahan antara jalan dan sungai. Jalur penyangga ini cukup lebar untuk menahan mengalirnya sedimen ke sungai. Untuk DAS yang lebih besar aturan lebih dibatasi dimulai dengan jalur 40 *feet* dan pertambahan 4 *feet* perderajat *slope*. Aturan yang ke 2 banyaknya jarak antar aliran (dalam *feet*) = 1,00 dibagi dalam *grade* jalan (dalam persen). Jadi pada grade 20%, permukaan aliran dipasang setiap 50 *feet*.

Teknik-teknik untuk menambah hasil air termasuk praktik penebangan dilangsungkan terutama sejalan dan penurunan intersepsi atau evapotranspirasi.

Penelitian menunjukkan bahwa praktik ini akan kerja. Kebanyakan bekas-bekas penelitian akan bekerja dan permintaan untuk penambahan air harus lebih ditekankan sebelum penebangan untuk air menjadi biasa. memperkecil intersepsi salju untuk menambah hasil air mungkin akan nyata pada kelerengan yang tinggi. Akumulasi yang besar akan mencair pada waktu yang sama indikasi kehilangan salju di bawah tegakan yang rapat bahwa pertambahan hasil air akan dihasilkan sangat tinggi bila musim semi ditinggalkan.

Di daerah Tenggara USA, pembukaan tegakan hanya daun lebar di Utara pada luasan kira-kira dua kali tinggi dari sekitar

pohon ditemukan 4 – 10% lebih air salju dari pada di dalam kayu, dari 0,4 – 1,0 inci perbedaan pada bagian itu diintersepsi. Penemuan evapotranspirasi tidak menambah hasil air oleh pariasi penebangan hutan telah ditunjukkan pada penelitian di laboratorium Hidrologi Coweeta di Western Nort Carolina USA.

Empat tipe penebangan telah dilaporkan. Pada hal-hal yang luar biasa dan pengetahuan yang baik DAS Oak Inckory dilakukan tebang habis dan tunasnya dipotong kembali secara tahunan. Tidak ada produksi kayu yang dirubah, di bawah rata-rata ch 80 inci pertahun pertambahan hasil air 17 inci tahun pertama menjadi rata-rata 11 inci dari ke 3 sampai tahun ke 13. Pertambahan maksimum terjadi selama musim dingin tetapi secara nyata pertambahannya juga terjadi pada bulan Juli, Agustus dan September.

Pada studi yang ke 2 dengan prosedur yang sama yaitu tebang habis telah diikuti tetapi penutupan hutan dibiarkan tumbuh kembali. Pada tahun pertama pertambahan 14 inci. Pertumbuhan pohon-pohon dan semak memerlukan banyak air. pada tahun ke 15 turun menjadi 4 inci. proyek ini menyarankan tak perlu diperhatikan pengaruhnya setelah tahun ke 35. Kedua studi itu tidak merubah pengukuran angin, volume aliran hujan atau dalam distribusi dari limpasan hujan.

Pada studi ke 3 kerapatan bawah tajuk pada hutan selalu hijau yang luas dirubah. Tahun pertama setelah perlakuan aliran sungai bertambah 2,8 inchi, 6 tahun kemudian bertambah 1,3 inci, pada tahun ke 4 tak terpengaruh. Pertambahan secara merata dibagi di antara pase pertumbuhan. Aliran maksimum selama periode hujan lebat tidak bertambah.

Pada studi ke 4 semua vegetasi ditebang pada jalur dengan lebar 15 *feet* pada ketinggian di atas alur, banyaknya mencapai 12% dari areal DAS. Pertambahan hasil air telah seimbang pada daerah itu dengan tidak ada indikasi bahwa di bawah kondisi curah hujan yang tinggi digunakan oleh vegetasi riprasian ketidak seimbangan kandungan air.

Ke empat studi di atas mengindikasikan bahwa hasil agar dapat bertambah di bawah kondisi curah hujan tahunan yang tinggi dalam (80 inci) dan kedalaman tanah yang stabil dengan penutupan hutan. Hal tersebut menyatakan bahwa penebangan hutan - dengan air yang dihasilkan berhubungan erat tetapi hampir tidak cukup untuk merekomendasikan secara umum sebagai kegiatan untuk menambah hasil, tetutama pada iklim yang berbeda secara nyata dan kondisi tanah. Kekurangan dalam pengetahuan disarankan tidak hanya diperlukan untuk lebih meneliti tetapi juga disarankan pendekatan penelitian pada air di daerah yang kecil dimana manipulasi dari

vegetasi dipertimbangkan keberadaannya sebelum skala besar perlakuan dicoba, pertama dicoba pada DAS yang kecil.

Pertambahan air yang dihasilkan akan sementara, seperti pertumbuhan kembali pada tanaman membuat permintaan lebih besar dari persediaan air. Penyelesaian lain untuk penebang kembali areal untuk menjaga pertumbuhan vegetasi dan transpirasi yang minimum atau mengganti vegetasi dengan keperluan air yang sangat rendah. Kedua kemungkinan itu mudah dikatakan dari pada dikerjakan. Hasil Cowetas menunjukkan bahwa penambahan tahunan akan stabil oleh penebangan tahunan tetapi bentuk paling rendah dari pada pertumbuhan awal ketika vegetasi bawah tidak rapat.

Tidak ada yang secara sungguh-sungguh mencoba mengganti dengan vegetasi berakar dangkal atau tipe vegetasi berumur pendek untuk penutupan hutan ash. Hal ini masih dalam perkiraan penelitian seperti permintaan air menjadi sangat besar kemungkinan aplikasinya tak diperbolehkan.

4. Prinsip-prinsip Singkat

Beberapa studi yang berguna dikombinasikan dengan beberapa pengamatan dan spekulasi dapat melengkapi jumlah pada prinsip-prinsip umum pada pengelolaan lahan hutan dalam program DAS. Prinsip-prinsip dibatasi pada cara-cara yang umum yang akan mendirikan pengendali banjir yang mana akan memelihara air yang lebih besar. Tidak ada praktek yang dapat disarankan yang akan menyelesaikan keduanya secara objektif untuk berbicara dengan tepat, mereka tidak ada yang cocok. Pengukuran akan menambah hasil air di bawah kondisi tertentu, penambahan volume pada air yang banjir. Pada daftar berikut prinsip-prinsip stabilisasi tanah, secara sama dipakai untuk pengendalian banjir dan penambahan hasil yang dihasilkan.

5. Pengendalian Banjir

- a. Menstabilisasi daerah dari pengikisan tanah yang akan dihasilkan erosi dan efek aliran permukaan pada kualitas air.
- b. Lindungi hutan DAS dari kebakaran untuk melakukan transpirasi maksimum dari pohon-pohon yang sehat dan pengembangan kondisi yang optimum pada lantai hutan untuk penyimpanan air.
- c. Melindungi hutan dari penggembalaan untuk mencegah kepadatan tanah, sehingga mengurangi pertumbuhan.
- d. Memelihara tajuk yang lebat untuk melakukan fungsinya pada energi matahari untuk evapotranspirasi.

- e. Menggunakan tumbuhan spesies yang berperakaran dalam untuk melakukan penyimpanan air yang lebih besar dalam kelembaban tanah.
- f. Penebangan pohon masuk tebang juga sebagai cara untuk mempertahankan tegakan dari pohon-pohon yang pertumbuhannya cepat dengan intersepsi maksimum dan guna air.
- g. Lokasi, disain dan konstruksi jalan *logging* menurut DAS yang baik untuk membuat jalan yang minimum, menjaga lumpur keluar aliran sungai dan membuat revegetasi.

6. Penambahan Air yang Dihasilkan

- a. Spesialisasi areal dari pengikisan tanah yang menghasilkan limpasan pada kualitas air yang rendah dan material tanah dengan cara lain akan mengatur cadangan dan alur sungai.
- b. Menjaga vegetasi yang diperlukan untuk mempertahankan lantai hutan yang mana akan menyerap air hujan.
- c. Untuk spesies berakar dangkal akan mengakibatkan kekurangan kelembaban tanah.
- d. Membiarkan spesies itu yang mempunyai pertumbuhan pendek atau fase penggunaan air.
- e. Memusatkan kemampuan penyimpanan air pada daerah pengguna air yang besar oleh vegetasi DAS.

Penerapan pada Lingkungan yang Berbeda

Dimana pengendalian banjir adalah pengelolaan yang utama, kemapanan penanaman konifer akan menjadi lemah untuk membiarkan salju terkumpul, dan invasi dari kayu daun lebar akan berpengaruh. Ada perlakuan hutan bahwa pengurangan serasah dan humus yang dalam akan menghalangi seperti ketahanan, penggembalaan dan penebangan yang berat.

Daerah-daerah bersalju : Pada daerah berhutan dimana bagian yang baik pada presipitasi tahunan turun sebagai salju, pengelolaan hutan dapat diarahkan juga untuk pengendalian banjir atau penambahan hasil air. Untuk pengendalian banjir prinsip pengelolaan termasuk prinsip-prinsip umum telah diberikan. Padanya akan ditambahkan bahwa memacu pertumbuhan konifer akan lebih menghalangi salju dari pada daun lebar lambat untuk mencapai tanah. Salju yang keras di suatu daerah tidak sebanyak problem perlakuan banjir dari penyimpanan salju air. Melindungi pembekuan tanah dari bongkahan salju.

Dimana penambahan hasil air menjadi tujuan, pengelolaan harus mempunyai tujuan ganda pada pengumpulan salju yang besar kemudian melindunginya dari evaporasi. Mempelajari keduanya kayu daun lebar dan konifer disarankan bahwa akumulasi maksimum diperoleh dari jalur tebang yang sempit timur - barat.

Daerah-daerah curah hujan rendah dan tinggi. Pada daerah yang curah hujan yang tinggi (termasuk inkusitas curah hujan tinggi) titik berat pada perlindungan juga untuk pengendalian banjir atau jika banjir tidak menjadi problem. Untuk stabilitas tanah untuk memelihara lahan hutan dan memberikan kualitas air yang baik. Di sini menghendaki penutupan yang maksimum dan gangguan yang minimum.

Memperhatikan air yang dihasilkan reboisasi akan sejauh mungkin dibatasi pada daerah hutan dengan curah hujan yang tinggi secara umum. Pohon-pohon dipelihara untuk menghalangi penggunaan air yang lebih besar dari pada kehilangan vegetasi.

Tidak ada tindakan yang dilakukan untuk menambah persediaan air dimana penutupan vegetasi tidak cukup memberikan perlindungan teknik penambahan air pada daerah ini tidak banyak menghasilkan dan perubahan vegetasi hanya menambah ancaman aliran banjir pada kesempatan mendatang di daerah tersebut.

Dimana curah hujan seperti ini penggunaan vegetasi memberikan harapan berhasil, hasil ini merupakan pendekatan paling baik pada penelitian atau *pilot - plant basis*, perlakuan dimulai dengan satu atau dua DAS kecil untuk dibedakan pengaruhnya. Penurunan evapotranspirasi merupakan prinsip yang nyata. Perbedaan-perbedaan intersepsi curah hujan akan berpengaruh kecil terhadap hasil air sejak hampir setahun jumlah kandungan air yang kecil mencapai tanah, oleh jasa pergerakan pohon kemudian diuapkan.

Dalam pertimbangan kemungkinan penambahan hasil, beberapa pemikiran akan diberikan untuk kecepatan pertumbuhan kembali dan keharusan dan biaya pemeliharaan perlakuan. Kemungkinan untuk mengganti kehilangan keperluan air tipe penutupan untuk pemakaian yang sangat berat merupakan pertimbangan yang hati-hati sulit untuk mempertahankan tipe penutupan yang tunggal melawan serbuan penutupan ash yang mungkin sangat besar. Sampai lebih mengenal tentang fase penambahan air pada pengelolaan hutan, teknik-teknik akan teruji pada percobaan pertama.

Daerah-daerah pada tanah-tanah dangkal dan dalam mengatur kedalaman tanah pada luasan yang besar kemungkinan untuk mencapai keduanya pengendalian banjir yang besar atau hasil air yang

besar. Pada suatu daerah pengendalian banjir sebagai contoh daerah-daerah tanah dangkal dengan dibatasi kapasitas penyerapan limpasan yang besar. Hal tersebut dapat dihasilkan pada banjir yang alamiah dan fungsi hutan secara besar untuk menangkap tanah pada suatu tempat. Pada tanah yang lebih dalam, keberadaan kesempatan untuk menggunakan kedalaman tanah yang lebih dalam untuk menyerap secara minimum banjir akibat curah hujan.

Kesempatan untuk menambah hasil air pada daerah-daerah tanah dangkal yang dibatasi hampir seluruh daerah dimana air yang terakumulasi dapat dikelola.

Penurunan evapotranspirasi akan sedikit berpengaruh untuk tanah yang dangkal pengambilan tindakan hanya dibatasi pada kelembaban tanah menjadi berubah. Penebangan akan mengurangi evapotranspirasi dan lebih banyak air yang mengalir ke aliran sungai. Dimana hasil air adalah penting air daerah-daerah tanah dalam sepanjang sungai tidak akan ditanami pohon-pohonan.

Daerah-daerah yang pertumbuhan vegetasinya cepat dan lambat berpengaruh terhadap pengelolaan hasil air. Pada daerah *Sproce fiir* sebagai contoh; pertumbuhan yang lambat dan pengaruh penebangan menaikkan akumulasi salju akan tetap untuk suatu waktu. Pada daerah panas pertumbuhan kembali akan lebih cepat dari penebangan kembali diperlukan lebih sering untuk mempertahankan hasil air. Pada daerah dingin pengaruh pertumbuhan adalah penting bahwa penerapan praktek adalah benar untuk itu akan berakhir pada waktu yang lama.

Kondisi pertumbuhan juga menjadi tingkat, potensial disarankan untuk pengelolaan lahan hutan pada program DAS bila pertumbuhan lambat dan dibatasi oleh temperatur dan panjangnya masa pertumbuhan. Ada kehilangan kesempatan pertumbuhan vegetasi dimana akan berpengaruh terhadap pengendalian banjir dan hasil air yang tinggi. Membicarakan kondisi pertumbuhan yang lebih ideal memaksa kesempatan pengelolaan yang lebih luas.

7. Manusia dan Hutan

Beberapa tempat didunia penggunaan areal hutan dikedalikan oleh negara dan secara umum rimbawan dapat merencanakan program perbaikan DAS tanpa campur tangan orang lain. Pada situasi bagaimanapun lahan hutan berada di bawah pengawasan negara juga terlibat dalam jaringan kerja hak-hak individu untuk melakukan penebangan, pengembalaan hah-hak atas air dan berburu. Sebagian besar hak-haknya yang kuno sering menjadi konflik dan selalu menjadi

rintangan besar untuk memperbaiki hutan seperti manfaat umum dalam perlindungan DAS, dimana hak-hak berada perbaikan hutan untuk keperluan DAS diperlukan ditentukan oleh pemerintah.

Program pendidikan bagi pemilik hak-hak dan ada pilihan untuk latihan bagi hak-hak yang akan memuaskan bagi pamilik Sebagai contoh desa-desa yang biasanya penggembala tanah di hutan akan diberi hak-hak penggembala. Hal ini dimaksudkan untuk investasi membangun fasilitas irigasi untuk lahan panen mereka. Begitu pula pada sumber-sumber yang murah pada kayu bakar untuk rumah tangga mungkin digunakan hasil untuk disertai hak-hak penebangan kayu bakar pada hutan masyarakat.

Perladangan berpindah di hutan tropis merupakan problem yang khusus. Beberapa pendekatan dilakukan untuk mengurangi pengaruh yang merugikan dari sistim tata guna lahan. Pemikiran adalah secara tajam apa yang akan dilaksanakan, tetapi umumnya peladang berada di luar ekonomi pasar, lebih sedikit kemungkinan mengatur teletifitas mereka untuk menjamin bahaya rotasi dari penebangan ladang cukup panjang untuk mengurangi kehilangan tanah dan membangun kembali tingkat kesuburan tanah. Pertumbuhan populasi seperti peladang pada suatu daerah cendrung menghasilkan menjadi pendek lebih baik dari pada memperpanjang periode sementara lahan tertutup dengan vegetasi hutan. Penurunan pada tanah mempercepat erosi dan *run off* adalah akibat yang biasa.

Pergiliran ini tidak memberi pilihan tetapi mengembangkan dari sistim perladangan yang mana investasi dibuat untuk menaikkan produktifitas beberapa lahan pada suatu titik dimana hal itu menjadi pertanian menetap. Investasi itu dapat beberapa macam dalam irigasi pada fasilitas transport membawa pupuk kimia dan produk pertanian ke pasar.

Pada beberapa kasus pengembangan itu adalah penting jika bagian dari hutan tropis di dunia dicadangkan berhasil baik untuk kelangsungan fungsi hutan. Seperti dilakukan di Eropa Barat dan Amerika Utara investasi modal yang intensif dalam fasilitas produksi pertanian yang komersil dapat melakukan produksinya bagi keperluan makanan di dunia dan pada waktu yang sama membuat beberapa lahan produktif berguna untuk penggunaan hutan secara komersil.

Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Padang Rumput

Padang rumput merupakan permasalahan utama dalam dunia pengelolaan DAS. Padang rumput telah dirusak oleh penggunaan yang keliru, akan kurang mendapat perhatian. Padang rumput merupakan sumber endapan terbesar dan penyumbang utama dalam menimbulkan banjir. Sementara masalah hutan dan tanah ditangani dengan serius, namun di beberapa belahan bumi permasalahan padang rumput dapat menyebabkan bencana yang besar. Berjuta-juta hektar dari permukaan bumi merupakan padang rumput yang menghasilkan erosi, endapan dan limpasan air yang menyebabkan banjir. Padang rumput terdapat di daerah beriklim sedang, daerah yang tidak memiliki sumber air dan daerah tropika lembab, akan tetapi paling banyak terdapat di daerah dataran yang kering sampai setengah kering, yang sesungguhnya menakjubkan bagi para wisatawan, sumber makanan ternak yang setengah kelaparan dan pendukung utama bagi masyarakat yang termiskin di dunia.

Sebagian besar dari padang rumput itu tidak selalu demikian adanya, tetapi kejadian tersebut telah dan sedang terjadi dan disaksikan oleh masyarakat yang mendiami kawasan padang rumput itu. Proses kemunduran padang rumput di kawasan semi-arid (setengah kering) berlangsung secara pelan-pelan dari tahun ke tahun, dekade ke dekade dan dari abad ke abad, sehingga manusia berpikir bahwa tanah dan lahan mereka telah begitu tandus, DAS mereka tidak tentu mensuplai air. Dongeng nenek moyang yang teringat sekarang mengenai padang rumput sebagai lahan “MADU DAN SUSU” nampaknya telah menjadi dongeng perumpamaan yang terlalu berlebihan. kini di seluruh

permukaan bumi dimana pun merupakan contoh yang penting bagi perubahan yang dramatis di dalam manajemen padang rumput daerah semi-arid (setengah kering) yang menunjukkan bahwa padang rumput dan rejim DAS dapat diubah sedemikian rupa apabila masyarakat dan pemerintah memiliki kemauan untuk mengembangkannya. Dengan demikian, pengembangan DAS padang rumput dapat sebagai perbaikan perekonomian bagi masyarakat yang tergantung kepada lahan pada suatu DAS yang mengalir pada suatu kawasan.

Tujuan pokok dari pengelolaan DAS padang rumput adalah untuk mempengaruhi rejim DAS suatu daerah. Dalam banyak kasus, tujuan pengelolaan DAS dapat pula mengendalikan banjir, memperbesar suplai air dan mengontrol atau mengendalikan endapan erosi ke kawasan yang tidak membahayakan. Luas sekali memang, tujuan pengembangan DAS sesuai dengan tujuan lainnya dari suatu pengelolaan padang rumput. Kegiatan-kegiatan yang mungkin dilaksanakan di dalam pengelolaan DAS yang memberikan manfaat dapat berupa menambah persediaan makanan ternak dan menambah pendapatan masyarakat yang menggarap lahan. Dalam banyak kasus, tujuan pengembangan DAS yang paling mudah adalah pendekatan di dalam mengurangi tekanan terhadap padang rumput dibanding manfaat yang diperoleh masyarakat seperti pengendalian banjir dan endapan erosi. Masalah DAS merupakan cermin dari kehidupan masyarakat yang hidup di situ dan bahaya DAS yang dihadapi masyarakat seperti aspek teknis dan perbaikan secara vegetatif.

A. Rumput pada DAS

Rumput, sebagaimana tumbuh-tumbuhan lainnya, mempengaruhi tingkah laku air pada suatu DAS. Rumput melindungi partikel-partikel tanah terhadap percikan air hujan, mengurangi erosi tanah. Rumput menahan kekuatan jatuhnya air hujan, memperlambat gerakan air dan memberikan kesempatan yang banyak bagi air untuk merembes ke dalam tanah. Rumput menahan air hujan di atas permukaan tanah oleh batang dan daunnya, sehingga dapat mengurangi erosi tanah dan memudahkan perembesan air ke dalam tanah. Selain itu rumput menaungi tanah, menjaga temperatur dan mengendalikan kecepatan penguapan.

Rumput merupakan tumbuhan berakar serabut dengan akarnya yang cukup banyak terpusat pada tanah lapisan atas. Kecuali di bawah kondisi yang jelek, rumput hanya memiliki perakaran di atas permukaan tanah dan hanya berfungsi sebagai pengendali gerakan partikel tanah terhadap air dan angin. Rumput cenderung

memiliki sistem perakaran yang dangkal dibanding pohon hutan dan mempertahankan kelembaban yang kurang baik karena kurang dalam. Untuk sebagian besar daerah yang memiliki musim yang bervariasi nyata terlihat bahwa persediaan kelembaban padang rumput lebih rendah dibandingkan pohon hutan, sebaliknya rumput kelihatan bertahan lebih lama pada periode musim panas dibanding tipe-tipe hutan yang bervegetasi.

B. Pengaruh Penutupan Tanah

Penutup tanah adalah bagian permukaan tanah yang ditutupi tumbuhan yang hidup, dan serasah adalah satu dari faktor yang terpenting dalam pengelolaan DAS. Serasah, sebagaimana benda hidup lainnya, berfungsi sebagai rintangan pada gerakan air. Akar rumput dan zat organik dalam tanah membantu menjaga tingkat perkolasi dan kapasitas penyimpanan air. Jumlah yang cukup dari rumput sebagai penutup tanah diperlukan dalam jumlah yang luas, tergantung daripada tipe pertumbuhan dan kebiasaan akar, tipe tanah dan frekuensi, intensitas dan jumlah air hujan. Di bawah daerah semi-arid (setengah kering), curah hujan mungkin tidak cukup untuk menghasilkan penutup tanah yang banyak sesuai yang dibutuhkan pada daerah dengan curah hujan yang banyak, sehingga tidak sesuai dengan penutup tanah yang dibutuhkan.

Hubungan antara kepadatan vegetasi penutup pada padang rumput penggembalaan dan aliran permukaan serta erosi selama badai musim panas yang panjang, dimana ditemukan dua karakteristik penutup tanah yang penting, yakni:

1. Persentase permukaan tanah yang ditutupi dengan vegetasi hidup dan serasah.
2. Ukuran maksimum dari permukaan tanah gundul berhubungan erat dengan aliran permukaan dan erosi.

Dimana apabila penutup bertambah 70% maka aliran permukaan menurun demikian pula erosi menurun. Akan tetapi, kepadatan penutup bertambah lebih dari 70% maka terjadi pengurangan lebih besar pada aliran permukaan dan erosi. Erosi berkurang karena tanah yang terbuka lebih sedikit dan konstan ketika penutup tanah dikurangi sebesar 2 - 4 inci diameternya.

Beberapa bercak tanah gundul dapat terjadi pada daerah yang masih asli, padang rumput yang belum dimanfaatkan, khususnya yang dihasilkan di bawah daerah arid (kering) dan semi-arid (setengah kering) dan kadang-kadang pula terdapat pada padang rumput

daerah tropis, sedangkan pada daerah dengan curah hujan yang tetap sepanjang tahun dan merata, tanah dapat tertutupi dengan baik oleh vegetasi. Bagian terbesar padang gundul yang kurang baik adalah pada padang rumput penghasil makanan ternak dan pengairan yang tidak terkendali.

Dalam studi perbandingan dua tempat padang rumput yang mirip keasliannya di DAS daerah Utah, di bawah daerah semi-arid (setengah kering), Forsling melaporkan bahwa *run off* selama musim salju tidak berbeda dari DAS yang mempunyai 16% penutup lahan dari vegetasi yang mempunyai 40% penutup. Bagaimanapun, selama musim panas, dengan intensitas tinggi, total *run off* rata-rata 6 (enam) kali lebih banyak dan sedimen tahunan sebesar 5,4 kali pada penutup 6% dibanding yang 40% penutup lahan dari vegetasi hidup.

Tes infiltrasi pada DAS yang sama, diukur dan dilaporkan oleh Marston, menunjukkan bahwa 70-75% penutup lahan berupa vegetasi hidup dan serasah diperlukan untuk pengendalian *run off* dan erosi. sebagai acuan secara umum, kapasitas infiltrasi adalah kemampuan langsung jumlah vegetasi penutup lahan yang ada pada tanah. Hal ini dimungkinkan karena tanah penggembalaan dan tanaman herba berkurang kemampuannya untuk menyimpan air dan mengalirkan serta memasukkan air ke dalam tanah. Bailey mengatakan bahwa *run off* pada padang penggembalaan yang kering dan umum terjadi sepanjang daratan dengan waktu yang sangat singkat tetapi curah hujan yang amat lebat, dan secara relatif kecil jumlahnya secara keseluruhan. Beliau menunjukkan bahwa sekitar 85% tanah bagian hulu DAS Colorado (USA) adalah kering dan menyumbangkan kurang dari 10% air ke sungai, tetapi tanah kering tersebut merupakan sumber endapan sebanyak 85% ke dalam danau Mead di belakang DAM Hoover. Dan benar bahwa *run off* di daerah arid (kering) dan semi-arid (setengah kering) pada musim panas sering tidak mencapai induk sungai yang sebenarnya karena diserap oleh jaringan badan sungai pada bagian hulu aliran sungai. Kondisi seperti ini umum terjadi pada daerah arid (kering) dan semi-arid (setengah kering) di Mediteranian, Afrika dan di negara-negara Asia.

Ciri-ciri umum lainnya dari penutup padang rumput yang baik adalah didominasi oleh tanaman jenis asli. Tanaman tahunan hanya menempati ruangan yang sedikit saja.

Craddock dan Pearce mengadakan suatu studi pada tiga padang rumput di daerah semi-arid (setengah kering), yang *pertama*, dengan tanaman tahunan *Agropyron inerme*, yang *kedua*, tanaman semusim *Bromus tectorum* dan yang *ketiga* rumput berumur pendek, dengan

respon pada musim hujan panas yang disimulasikan pada sebuah infiltrometer yang besar. Daerah yang dibandingkan pada tipe tanah yang sama dan ditemukan bahwa penutup dengan tanaman *Agropyron inerme* lebih efektif dalam mengontrol *run off* dan erosi dibanding tanaman tahunan. Pada tipe ini secara praktis tidak ada *run off* atau erosi, sebagaimana perbandingan dengan rata-rata tanah yang terangkut sebesar 45,5% dan 3,6 ton per hektar endapan erosi pada tipe yang lainnya. *Bromus tectorum* merupakan tanaman tahunan yang dua kali efektif mengendalikan *run off* dan 2-7 kali lebih besar dalam mengontrol erosi. Oleh karena itu, tumbuhan sebagai penutup lahan dapat dimanipulasi untuk tujuan yang berbeda dalam pengelolaan DAS. Jenis seperti *Bromus tectorum* memiliki suatu perakaran yang dangkal yang disebut akar rhizonmatous dengan akar serabut yang luas mencapai kedalaman 5-6 kaki. *Poa pratensis*, pada sisi lain memiliki sistem perakaran yang agak dangkal, dapat menutup tanah dengan baik, tetapi tidak dapat menarik air yang lebih dalam. Sudah barang tentu, akar serap yang pendek memberikan perlindungan yang sedikit pula pada tanah, tetapi dapat menarik dan menghisap air dari tempat yang lebih dalam.

C. Rumput Vs Penutup Lainnya

Padang rumput lebih mapan mengendalikan mengalirnya air dan erosi tanah dibanding tanah yang diolah dan ditanami. Suatu perbandingan dari sebuah jenis rumput bluegrass yang bukan untuk penggembalaan (*Poa pratensis*), maise (*Zea mays*) dan barley (*Hordeum* sp), dibuat untuk rotasi bluffland di Wisconsin, USA, yang oleh Hays, Mccall dan Bell menunjukkan bahwa *bluegrass* (rumput biru) melepaskan hanya 5,5% curah hujan dari tahunan menjadi air *run off* dan rata-rata hanya 0,1 ton tanah yang terangkut per ha per tahun.

Maise dan Barley menyatakan bahwa pada plot mereka kehilangan 29,2% dan 21,3% berturut-turut setiap tahun sebagai aliran permukaan dan 111,7 dan 16,8 ton tanah per ha per tahun.

Di bawah kondisi tanah beku, terjadi *run off* lebih besar pada padang rumput dibanding tanah yang dibajak karena rumput penutup tanah dapat menyekat tanah padat oleh karena itu menghambat peresapan air. Hal ini menjelaskan bagaimana suhu dapat mempengaruhi tingkah laku *run off* padang rumput.

Harrold melaporkan pada perbandingan yang dirancang di bawah suhu lembab di USA, dari *run off* dan faktor lain seperti antara DAS pada jagung (*Zea mays*) dan rumput. Rata-rata dari lima perbandingan

menunjukkan 2,93 inci *run off* kurang daripada rumput dibanding jagung (*Zea mays*) yang tumbuh. Penyelidikan lain menunjukkan bahwa rata-rata infiltrasi dan perkolasi bertambah di bawah padang rumput, akan tetapi rumput yang berakar dalam dan tumbuhan berpolong menghabiskan kelembaban tanah lebih banyak daripada jenis tumbuhan rumput yang berakar dangkal, dengan demikian dapat mempengaruhi jumlah perkolasi pada kedalaman tanah yang lebih rendah.

Kebutuhan air setiap tanaman beragam menurut susunan fisiologisnya dan ciri-ciri pertumbuhannya. Kesimpulan umum menurut Colman adalah bahwa tumbuhan permanen seperti hutan, kebun, buah, padang rumput dan alfalfa membutuhkan air yang besar dibanding dengan tanaman musiman.

Osborn mendiskusikan efisiensi bermacam-macam tipe tanaman dalam mencegah erosi.

Keefektifan penutup dalam mencegah tanah terkikis tergantung pada jumlah penutup yang ada pada waktu hujan turun, baik densiti maupun volume. Macam penutup tidak sepenting jumlah rumput yang pendek umumnya membentuk penutup yang bersifat melindungi, jenis dan macam rumput adalah kemudian, dan rumput yang tinggi dan kasar relatif lebih sedikit daya melindunginya daripada rumput tipe *herbaceous*. Sedangkan tumbuhan campuran dapat dikembangkan pada daerah semi-arid (setengah kering) sebagai tindakan lebih lanjut.

Bukti yang diperoleh dari hasil penelitian menyarankan bahwa pengelolaan padang rumput yang bermanfaat dapat menjanjikan suatu bantuan yang besar dalam pemanfaatan DAS di zona iklim sedang sampai setengah kering. Di bawah daerah tropis lembab, dimana curah hujan sangat banyak, sumbangan penting pada pengontrolan bahaya erosi nampaknya sangat mungkin, tetapi pengaruhnya dapat kelihatan pada DAS yakni tidak mungkin terjadi pada daerah setengah kering. Jumlah air di daerah tropis lembab sering begitu besar di dalam mempengaruhi jumlah dan tingkat infiltrasi. Ini dapat saja terjadi, bagaimanapun di daerah tropis tersebut musim kemarau dan hujan adalah jelas banyak dan tegas, dengan demikian pengelolaan padang rumput yang efektif dapat menjadi suatu bantuan dalam memperpanjang alur sungai pada musim kemarau. Sedikit penelitian menyatakan bahwa potensi pada daerah tropis lembab belum banyak dan benar-benar diketahui. Untuk padang rumput yang berada di daerah bersuhu sedang lembab, terjadi pengontrolan yang lebih mudah melalui perbaikan kondisi penutup tanah dan terdapat suatu bahan bacaan yang luas untuk itu semua, tetapi badai besar,

padang rumput yang terurus dengan baik di daerah beriklim sedang mempengaruhi tingkat dan jumlah *run off* dan infiltrasi, dengan demikian mempengaruhi DAS. Peluang pengelolaan padang rumput yang besar terjadi di daerah belahan dunia semi-arid (setengah kering). Itulah sebabnya di daerah tersebut pengelolaan-padang rumput dengan vegetasi penutup pengaruhnya sangat menyolok terhadap tingkah laku DAS. Tingkat erosi pada dasarnya dapat berkurang dengan sedikit memberikan penghalang pada saluran-saluran air. Tingkat infiltrasi juga dapat diperbaiki dengan maksud mempengaruhi DAS dan aliran air dalam tanah.

D. Erosi pada DAS Padang Rumput

Umumnya, erosi tanah dianggap sebagai pembentukan pengikisan yang berat pada berjuta-juta hektar padang penggembalaan. Peristiwa arosi ini merupakan suatu tanda pemusatan aliran yang banyak pada suatu alur air yang memiliki ataupun tidak memiliki penutup tanah yang layak dari vegetasi yang ada, bahaya banjir dan tanah yang terangkut akan mengumpul di badan sungai atau waduk.

Erosi permukaan (*sheet* dan *riil* erosi), di pihak lain, sebenarnya terjadi dengan cepat tetapi tidak ketahuan. Namun demikian, ada kriteria tertentu yang menunjukkan jenis erosi ini termasuk kedalaman tanah yang tersangkut, gerakan perpindahan tanah oleh bekas injakan hewan, pengerasan tanah akibat erosi dan endapan tanah pada DAS.

Dimana terdapat tanah yang gundul, erosi akan memulai kegiatannya di antara tanaman secara individu maupun di antara serasah yang ada. Akar tanaman yang tetap berpegang kuat pada tanah yang ada di sekitar tempatnya, memberikan alas atau pegangan yang kuat, inilah manfaat dari serasah secara umum yang merupakan bukti kuat bahwa erosi dapat dipercepat terjadinya. Mungkin munculnya hal ini disebabkan oleh pengangkatan tanaman oleh salju terutama pada daerah yang dangkal yakni akar serabut dengan jenis *tap-rooted*. Pengikisan oleh salju lebih banyak pada daerah yang kurang cukup memiliki penutup tanah yang bersifat melindungi.

Proses lain yang menyebabkan terjadinya *Pedestaled appearance* adalah percikan butiran hujan dan erosi percikan terutama pada batu dan batang pada bagian bawah. Semua lapisan tanah kecuali bagian yang berada di bawah benda lainnya akan terangkut dan membentuk alur bersegi, mengambil bentuk mendatar dari benda pada permukaan tanah.

Melihat tanah yang berpindah-pindah merupakan bukti nyata bahwa kondisi tanah tidak stabil adanya. Awan debu, sungai yang keruh, daerah yang tergenang dan padat karena diinjak hewan merupakan kegiatan yang dipaksakan, sehingga menyebabkan adanya bukti yang salah dalam pemanfaatan DAS padang rumput. Pergerakan tanah tersebut sering meninggalkan bekas yang berkelanjutan sampai tanah tersebut ditinggalkan. Pengumpulan atau penumpukan tanah pada tanah yang dihalangi oleh vegetasi penutup, batuan, batang ataupun lainnya seperti tumpukan kecil tanah endapan muara sungai kecil yang dibentuk oleh kecepatan erosi yang lambat merupakan tanda adanya perpindahan tanah.

Perpindahan material tanah ke tempat yang jauh dan banyak sering mengakibatkan lapisan yang tinggal mengeras dan kasar karena :lapisan yang sangat baik seperti *top soil* telah terangkut ke tempat lain. Erosi yang keras biasanya meninggalkan bahan induk tanah, sehingga *run off* kurang baik dan dapat menyebabkan peristiwa banjir.

E. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Padang Rumput

Rumput yang barangkali dijumpai di suatu DAS menggambarkan beberapa faktor yang serba kompleks, dan kekomplekan itu harus berhubungan satu sama lain bila usaha pengelolaan DAS ingin berhasil dengan baik. Biasanya tidak cukup dengan memisahkan faktor tersebut dalam berbagai perlakuan, karena dapat mengganggu yang lainnya. Pada padang rumput daerah semi-arid (setengah kering), penggembalaan ternak yang berlebihan merupakan masalah yang strategis dan apabila dikelola dengan baik dapat memberikan hasil yang luar biasa. Bagaimanapun, pengendalian padang rumput harus terikat dengan permasalahan lain, sering dalam bentuk kegiatan ekonomi dan sosial, tanpa itu tidak dapat tercapai dengan baik, demikian pula pada daerah beriklim tropis dan sub-tropis, dimana kelembaban tidak terbatas, kesuburan tanah mungkin menjadi bagian strategis dalam pengelolaan padang rumput, akan tetapi berhubungan dengan masalah lainnya seperti kimia tanah, peternakan dan ekonomi. Pada bagian besar DAS, iklim dan geologi memberikan pola dasar yang pada gilirannya dapat dipengaruhi oleh faktor lain seperti topografi, pemberian makanan ternak, dan lembaga sosial perekonomian masyarakat. Di bawah ini akan diulas satu persatu sebagai berikut :

1. Iklim

Beberapa pola iklim akan lebih menonjol daripada faktor yang lainnya dalam pengembangan padang rumput. Pada dasarnya padang

rumput nampaknya lebih tahan pada daerah pertengahan dan lebih ramah pada rumput dibanding terhadap hutan, dan lebih ramah lagi daripada tanaman di padang pasir. Padang rumput alami di dunia terdapat di daerah yang variasi musiman yang tajam dalam hal curah hujan, yakni musim kemarau dan penghujan yang panjang dan tetap. Dan lagi rumput tahan terhadap fluktuasi musim hujan dan kemarau yang teratur dan tidak menentu jumlah dan lamanya. Ketidaktentuan dalam jumlah dan waktu dari curah hujan merupakan masalah umum dalam pengelolaan padang rumput alami di dunia. Ketidaktentuan mengenai curah hujan ini mengakibatkan ketidaktentuan pertumbuhan vegetasi, telah digambarkan oleh pola penggunaan padang rumput tersebut oleh masyarakat beserta lembaga sosial ekonomi yang terlibat. Manusia yang mengadakan perpindahan dalam beternak (*nomaden*) adalah pengembara dalam jumlah yang besar karena dipengaruhi oleh curah hujan dan produksi tanaman mereka yang tidak menentu. Pertanian menetap atau yang berorientasi dan mengandalkan produksi dari hutan membutuhkan kepastian mengenai kelembaban tanah daripada masyarakat yang *nomaden* seperti para penggembala ternak.

2. Geologi

Pengaruh geologi muncul sebagai ciri-ciri dari tanah. Padang rumput dijumpai pada suatu hamparan yang luas pada kondisi tanah tertentu yang sangat luas. Rumput tumbuh pada tanah yang dalam dan dangkal, di tanah pasir atau di liat yang pengairannya terlalu berlebihan, di tanah yang berdrainase kurang baik dan pada tanah yang drainasenya berlebihan. Rumput tumbuh pada hamparan yang luas pada kondisi tanah yang asam dan alkalinity. Sesungguhnya, kondisi tanah banyak mempengaruhi pertumbuhan rumput. Banyak jenis rumput yang peka terhadap kondisi tanah, dan pemeliharaannya harus banyak mendapat perhatian dalam pengelolaan DAS untuk penggunaan jenis yang sesuai dengan kondisi tanah tertentu. Dalam banyak kasus tanah yang tidak dapat dimanipulasi merupakan rintangan paling berat dalam perbaikan padang rumput. Penanaman bibit yang terlalu banyak dan penanaman rumput yang terlalu banyak pada padang rumput yang miskin merupakan suatu kesalahan besar dan biasa terjadi pada pengelolaan DAS padang rumput. Pada waktu yang sama, kondisi tanah sering dapat diubah untuk kepentingan padang rumput, penambahan mineral dan pupuk lainnya dapat diberikan asalkan situasi atau kemampuan ekonomi mendukung. Kadang-kadang manipulasi secara mekanik dapat dilaksanakan untuk mempengaruhi kondisi air pada padang rumput. Pembuatan tillage, teras dan pencangkulan dapat dilakukan. Kadang-kadang drainase

untuk mengalirnya air dibuat untuk memudahkan penyebaran air ke seluruh bagian tanah.

Dalam pengerjaan perbaikan DAS, beberapa perbaikan besar dan khusus harus diberikan pada tanah lapisan kedua. Peristiwa di daerah yang bercurah hujan tinggi dan lama karena kita harus menambah *run off* pada daerah yang curam dan lapisan bawah tanah yang stabil dan licin. Permasalahan ini pernah diteliti di Jepang. Yang menjadi perhatian umum adalah daya tahan lapisan bawah tanah untuk menahan air. Perubahan yang dilakukan pada perlakuan vegetasi mungkin dapat mempengaruhi nilai dan jumlah *run off*, tetapi tidak dapat mempengaruhi kapasitas simpanan air tanah. Dimana sumber air ada suatu DAS jarang mendapat perhatian, karena hal ini barangkali mengeluarkan banyak perhatian untuk memusatkan usaha-usaha perbaikan DAS untuk memperbesar kapasitas penyimpanan air yang besar.

3. Topografi

Topografi paling sering dilihat pengaruhnya dalam iklim mikro. Lereng yang menghadap matahari sering kali kering dan lebih panas sehingga mempengaruhi pertumbuhan rumput dan mungkin lebih menguntungkan bagi rumput yang tumbuh pada lereng yang menghadap bukan ke matahari. Pada beberapa iklim, daerah yang menghadap arah angin sering menerima curah hujan yang banyak daripada lereng lainnya. Kelerengan yang curam mungkin tumbuh rumput yang agak kurang dibandingkan daerah yang landai karena bahaya erosi. Kadang-kadang perbedaan topografi mempengaruhi pembagian padang penggembalaan ternak. Hal ini disebabkan oleh pola-pola pembagian daerah yang kurang dan lebih pertumbuhan rumputnya.

4. Populasi Ternak

Penggembalaan ternak tentu saja merupakan faktor lingkungan yang terkuat dalam mempengaruhi terjadinya padang rumput pada suatu DAS. Sebagai ketentuan umum, bila rumput diberi kesempatan untuk tumbuh kembali, maka tidak akan kehilangan daun sampai membahayakan pertumbuhannya. Luka-luka pada rumputan dapat disebabkan pada individu dengan pemotongan dekat pangkal dan berulang ulang lalu mengurangi kapasitas fotosintesa rumput sehingga menghabiskan cadangan makanan ternak. Rumput-rumput yang lebat merupakan jenis tertentu yang menyukai berbagai rintangan padang rumput.

Padang rumput yang diganti rumputnya dengan sedikit jenisnya yang lebih cocok dan lebat maka penutup tanah dan serasah secukupnya dikurangi untuk menciptakan iklim mikro yang lebih sering sehingga menguntungkan bagi pertumbuhan rumputan pada padang rumput. Pergerakan dan penggantian pada matarantai padang rumput mengarah kepada penciptaan kondisi mendekati padang pasir, *run off* yang laju, banjir yang berkepanjangan dan pengurangan suplai air sehingga mengurangi persediaan air tanah.

Pengaruh injakan kaki ternak bukan saja mempengaruhi rumput saja pada padang penggembalaan, tetapi juga mengubah struktur tanah, terutama pada *top soil* tanah. Lapisan *top soil* yang tipis akan memadat dan secara serius mengurangi *run off* dan aliran permukaan akan meningkat serta demikian pula erosi tanah, penggembalaan yang berlebihan selalu mempengaruhi *run off* yang serius yang tidak disadari secara umum. Di beberapa belahan bumi dengan kedalaman tanah yang berbeda, tanah tererosi tinggi, ada selokan yang dalam yang dimulai tatkala ternak menginjakkan kakinya di padang penggembalaan yang sudah memiliki erosi alur pada aliran permukaan tanah.

5. Api

Api merupakan suatu peralatan yang berguna dalam pemanfaatan DAS padang rumput dan dapat pula berpengaruh merusak. Api yang tidak terkontrol dapat melalap padang rumput yang sangat luas di beberapa tempat di permukaan bumi, menghabiskan makanan ternak, membunuh manusia dan hewan serta menghancurkan sistem botani dan hidrologi Di daerah dengan iklim dan musim kering yang berkepanjangan, bahaya kebakaran dapat meluas selama musim ini berlangsung. Di beberapa tempat merupakan suatu kebiasaan membuat api pada padang rumput terlebih dahulu pada permulaan musim hujan dengan maksud untuk merangsang pertumbuhan rumput yang baru. Penelitian di Amerika dan tempat lain menunjukkan bahwa membakar dengan dikontrol dapat berguna dalam pertumbuhan semak belukar yang tidak diinginkan akan tetapi perlu diteliti mengenai bagaimana api seharusnya digunakan dalam pengelolaan padang rumput, terutama pada daerah yang curam dan tanah yang mudah tererosi. Pada tempat seperti ini kebakaran dapat menyebabkan erosi tanah yang besar yang nantinya dapat menyebabkan bahaya banjir yang besar.

6. Manusia

Musuh padang rumput yang paling besar adalah manusia. Yang keputusannya mengenai jumlah ternak yang digembalakan pada padang penggembalaan melebihi kapasitas padang rumput di dunia.

Kegagalan manusia, hampir di seluruh permukaan bumi, untuk mengembangkan sistem sosial ekonomi yang berkaitan dengan padang rumput merupakan penyebab terjadinya erosi dan kemunduran suatu sistem DAS. kebutuhan utama yang terbesar untuk perbaikan kondisi DAS di dunia adalah mengembangkan cara bagaimana menentukan jumlah ternak yang seimbang dengan kemampuan padang rumput yang mendukung mereka, akan tetapi berbuat demikian merupakan tindakan yang berkaitan dengan masalah ekonomi, sosial dan politik yang paling mendasar di dunia.

Masalahnya tidak terbatas pada negara maju yang sedikit jumlahnya, walaupun juga sering terdapat di sini. Pemilik padang penggembalaan di Amerika dengan keras menantang usaha-usaha pemerintah untuk mengendalikan jumlah ternak seperti yang dilakukan di Afrika dan Timur Tengah serta Asia. Inti permasalahannya adalah tradisi pribadi pemilik ternak mengenai padang penggembalaan. Semua memiliki hak atas rumput, tetapi tidak seorang pun memiliki tanggung jawab yang nyata untuk menjaganya. Di bawah suatu sistem tertentu secara pribadi seorang berkeinginan memiliki ternak sebanyak mungkin. Di beberapa negara ditonjolkan adat yang berkaitan dengan kepemilikan ternak sebagai simbol kekayaan dan kepercayaan yang berkaitan dengan ternak.

Dalam tahun-tahun belakangan ini, perbaikan dalam mengontrol hama dan penyakit hewan penggembalaan, telah berdampak jauh dalam menambah jumlah ternak, sehingga mengurangi persediaan makanan bagi ternak dalam suatu padang penggembalaan. Perbaikan padang rumput di DAS barang kali harus merombak adat istiadat nenek moyang, beberapa kepercayaan yang melekat dan beberapa nilai adat. Hal ini akan memerlukan perubahan akan suatu kepercayaan dan sosial ekonomi yang akan memberikan kepuasan yang sama apabila suatu padang rumput direncanakan untuk memenuhi produksi optimum secara berkesinambungan. Hal ini bukan tugas yang ringan, namun dapat dilakukan. Sistem pengelolaan padang rumput di daerah pegunungan Eropa sangat mempengaruhi. Sistem tersebut telah dikembangkan di tempat yang lebih awal tidak seperti dewasa ini sebagaimana yang dipakai di beberapa negara yang sedang berkembang.

Beberapa kombinasi daripada pendidikan, insentif dan keharusan merupakan suatu kewajiban, tetapi syarat utama adalah untuk pemerintah pusat yang kuat, ditentukan kepada kesuksesan dengan pengontrolan agar menuju suatu keberhasilan yang diinginkan. ketidak hadirannya hal ini merupakan suatu kegagalan yang mutlak. Ketentuan dari pemerintah pusat adalah perlu tetapi tidak cukup.

Pemaksaan sendiri akan gagal. Di muka bumi ini kekuatan dan penentuan langkah awal yang terbaik adalah mungkin memperluas riset dan pendidikan untuk membangun suatu dasar yang luas dari pengetahuan yang luas mengenai potensi fisik itu. Ini syarat bahwa penggembalaan pada suatu DAS mempunyai suatu kesempatan untuk melihat apakah mungkin akan berubah kondisinya. Langkah kedua yang bermanfaat adalah pendidikan mengenai hambatan mengenai vegetasi pada jalur-jalur penggembalaan. Akhirnya harus ada suatu persetujuan mayoritas pada sistem alokasi padang penggembalaan yang ada dan tanggung jawab kelompok masyarakat untuk investasi tenaga kerja dan modal dalam perbaikan dan pemeliharaan padang rumput. akhirnya keputusan masyarakat yang banyak harus diikuti oleh golongan masyarakat yang minoritas mengenai keputusan yang telah diambil pemerintah pusat.

Tujuan pengelolaan DAS padang rumput adalah sesuai dengan tujuan pengelolaan padang rumput yakni mempersiapkan suplai makanan ternak yang optimum secara berkesinambungan. Dengan demikian tujuan masyarakat memperbaiki DAS tidak lain adalah untuk meningkatkan pendapatan mereka dari ternak. Kebijakan mengenai perbaikan padang rumput merupakan pekerjaan yang memberikan manfaat untuk menaikkan kesejahteraan masyarakat sekaligus memberikan efisiensi akan tingkah laku suatu DAS.

Masalah utama adalah pendidikan bagi para gembala ternak. Dari hari ke hari keputusan jutaan manusia sebagai individu tertuju kepada bagaimana menyusun strategi pengelolaan kawanan ternak mereka pada padang rumput pada suatu DAS yang merupakan bagian yang integral dari kehidupan masyarakat sehari-hari dan perbaikan padang rumput dalam beberapa bagian bumi agar jutaan masyarakat memberikan masukan untuk memajukan teknik baru yang lebih mempengaruhi keputusan yang mereka buat.

Penekanan utama harus diberikan dalam usaha menjelaskan kepada gembala ternak mengenai faktor-faktor yang berhubungan dengan pengelolaan padang rumput. Pengelolaan padang rumput yang terbaik adalah suatu keseimbangan campuran dari, beberapa jenis vegetasi, pada suatu keseimbangan yang perlu juga diperhatikan antara laju, pertumbuhan vegetasi dan laju ayunan. Penggembala harus menjaga keseimbangan antara beberapa banyak makanan ternak yang diambil dan seberapa banyak yang ditinggalkan. Mereka seringkali tidak menyadari gabungan antara luas penutupan rumput suatu DAS dan suplai air pada musim semi. Juga keperluan untuk informasi teknik pada fisik dan ciri-ciri padangrumput yang bergizi,

mereka secara bergiliran mengontrol padang penggembalaan dengan teknik pengaliran air, pemupukan kembali dan lain sebagainya.

Sedemikian besarnya keanekaragaman yang ada pada padang rumput di muka bumi ini yang perlu diperhatikan adalah memperluas pembangunan dan penggembalaan program penelitian dan percobaan. Teknik yang diperlukan untuk mengelola padang rumput di daerah tropis lembab tidak semuanya sama seperti di zona kering yang khas terdapat beragam variasi dalam keperluan sampai daerah yang luas. Para gembala ternak yang menetap di padang rumput untuk beberapa generasi, perlu penanganan pertama yang kelihatan pada mereka, misalnya kemungkinan teknik pada beberapa alternatif dan sistem pengelolaan padang rumput.

Demonstrasi percobaan peningkatan pengelolaan padang rumput mungkin memerlukan tindakan perlindungan yang kuat untuk melindungi mereka dari orang-orang yang harus ditolong. Pagar yang kuat dan pengawal bersenjata mungkin diperlukan, paling tidak pada permulaan kegiatan. Di beberapa padang rumput di dunia penggembala-penggembala cenderung lebih mengetahui hak mereka daripada tanggungjawab mereka untuk kesinambungan produktivitas lahan penggembalaan. Selain itu perlu perencanaan dari setiap penggembala yang relatif pendek. Mereka tertarik pada rumput karena dapat dikerjakan hari ini. Suatu percobaan pada padang penggembalaan yang luas di sekitar padang rumput tidak memberikan pelajaran yang baik karena ketertiban tidak terjamin dan dirampas. Demonstrasi demikian hanya efektif apabila ada mekanisme sosial yang pada dasarnya mengikutsertakan masyarakat lokal dalam mengambil keputusan agar padang penggembalaan tidak dirusak karena adanya partisipasi masyarakat lokal untuk keperluan percobaan tersebut. Selain itu, demonstrasi hasil percobaan tidaklah cukup, kalau hasilnya secara nyata dipahami barulah akan mendapatkan sambutan yang luas dari masyarakat.

Saran dari “rencana dengan” daripada “rencana untuk” masyarakat setempat harus dilibatkan dalam membuat keputusan, seluruh program dari peningkatan produktivitas padang rumput, termasuk tahap perencanaan awal, perlu untuk mencapai suatu keberhasilan. Ini tidak menyatakan bahwa masyarakat lokal dapat diharapkan memberikan sejumlah inisiatif ataupun gagasan lebih dari informasi teknik, namun inisiatif mereka merupakan bahan penting sehingga para peneliti dan teknisi dapat belajar berkali-kali dari orang yang buta huruf tetapi bijaksana dan sarat dengan pengalaman yang luas dan sangat baik untuk perbaikan suatu padang rumput.

Pengelolaan padang rumput yang efektif juga perlu memperhatikan penataran sosial ekonomi sesuai dengan kemampuan gembala. Pengawasan penggembalaan memerlukan beberapa sistem dari pelaksanaan penggembalaan yang tepat. Banyak padang penggembalaan di dunia dengan pelaksanaan yang tidak terbatas pengendaliannya. Rumput diambil untuk ternak, seringkali ada beberapa pengawasan tetapi tidak efektif. Dari sejarah dunia telah ditemukan tidak adanya alternatif dari pemerintah yang kuat dengan suatu latihan yang inten dengan suatu latihan yang efektif, jujur dari kekuatan polisi dan sistem yang efisien dalam mencari keadilan.

Pelaksanaan penggembalaan tetap dilakukan oleh individu seperti padang penggembalaan adalah milik sendiri, pelaksanaan ini memerlukan perlindungan terhadap fasilitas pelaksanaan hukum dan pengadilan. Di bawah sistem yang demikian individu tersebut diberikan perlindungan yang penting dalam merencanakan dan melaksanakan program pengelolaan padang rumput yang efektif.

Di belahan dunia yang luas, terutama di kawasan yang lebih kering, pembangunan sendiri, hak individu untuk memanfaatkan padang rumput tidak berkembang. Pendapatan dan kesejahteraan masyarakat tergantung kepada hewan ternak, hal ini betul-betul akan dipertahankan. Paling sering, paling tidak pada awalnya, pengurangan jumlah ternak mutlak diperlukan untuk memperbaiki padang rumput, sekaligus akan mengurangi pendapatan dari kegiatan penggembalaan. Walaupun demikian gadang rumput perlu diperbaiki dan diperhatikan dengan pemberian alternatif kesempatan lain selain pakan ternak, meningkatkan jumlah ternak sehingga efisiensi peningkatan makanan dapat ditingkatkan dan sumber-sumber pendapatan yang lainnya daripada hewan ternak. Pemukiman masyarakat berpindah dan pelatihan di bidang pertanian ataupun pelajaran yang penting dalam memperbaiki dan meningkatkan mutu padang rumput. Demikian pula pembangunan irigasi untuk produksi tanaman pangan merupakan masalah yang penting dan usaha peningkatan ternak serta pemeliharaannya.

F. Elemen-elemen Pengelolaan Padang Rumput

1. Survei Kondisi dan Keperluan

Memperbaiki DAS padang rumput harus dimulai dengan survei kondisinya. Survei tersebut memberikan dasar untuk perencanaan spesifik yang diperlukan. Teknik-teknik untuk survei yang demikian telah dikembangkan di beberapa negara dan diterangkan dalam

literatur pengelolaan padang rumput. Biasanya survei tersebut mencatat sejumlah faktor seperti:

- a. Jumlah penutup tanah oleh vegetasi yang hidup dan mati;
- b. Jenis vegetasi penutup;
- c. Kegiatan dan kondisi vegetasi;
- d. Tingkat pemanfaatan jenis makanan ternak yang utama;
- e. Karakteristik tanah, penting dalam pertumbuhan rumput;
- r. Jumlah dan jenis erosi tanah;
- g. Jumlah dan karakteristik aliran air; dan
- h. Karakteristik aliran uap air yang bercampur, lama dan laju aliran.

Demikian pula, ini diperlukan untuk survei penentuan jumlah hewan-hewan ternak tergantung pada daerah, sifat dasar dan pola penggembalaan yang tepat, dan beberapa indikasi posisi ekonomi dari masyarakat tergantung pada daerah untuk mata pencaharian mereka.

2. Tujuan Pengelolaan

Tujuan utama pengelolaan DAS padang rumput adalah untuk memungkinkan panen optimal dari hasil bersama lahan, yaitu :

- a. Aliran uap air yang teratur, dan
- b. Diperlukan sekali suplai makanan ternak yang lengkap dan berkelanjutan.

Dari sudut debit air, tipe vegetasi ini yang memudahkan infiltrasi dan juga menggunakan sedikit air dalam transpirasi yang sangat diperlukan, disediakan, tentu saja penutupan minimal yang memadai dipelihara untuk melindungi tanah dan menyimpan air ditempat tersebut. Tampaknya mungkin rerumputan yang perakarannya dangkal mengkonsumsi air tanah lebih sedikit daripada jenis yang perakarannya dalam, tetapi terlalu kecil untuk diketahui tentang konsumsi air dan syarat-syarat perlindungan tanah di bawah semua kondisi luas padang rumput yang berbeda di dunia memungkinkan menyamakan pendapat seperti keunggulan suatu tipe atas tipe lainnya.

Untuk produksi makanan ternak tujuan pengelolaan adalah mengembangkan kombinasi jenis yang akan memaksimalkan potensi produktif dari suatu tapak yang diberikan dan memberikan hasil yang kompleks dari tumbuh-tumbuhan bahwa fertilitas, lingkungan, penggembalaan, uap lembab (air) dan pengawasan hama dan penyakit yang akan memungkinkan hasil jumlah makanan ternak akan memberikan masukan yang paling besar kepada gembala

yang menggunakannya. Ini adalah suatu masalah yang rumit dari keseimbanganbiayadanpengembalian.Dalambeberapahalpendapatan seperti investasi yang akan memberikan suatu “maksimum” *output* perlu diperlunak dengan kemungkinan-kemungkinan tapak. Biasanya “optimum” adalah sesuatu yang kurang dari maksimum karena biaya yang sangat berat dicampur dengan dorongan tingkat perbaikan ke puncak teknik.

3. Pemeliharaan Kapasitas Penggembalaan

Kapasitas penggembalan dapat didefinisikan sebagai kemampuan padang rumput menyediakan makanan ternak dengan jumlah yang konstan pada peternakan untuk suatu periode yang sudah ditetapkan tiap tahun tanpa kemerosotan/ kemunduran salah satu dari suplai makanan ternak atau DAS.

Ciri-ciri teknis yang demikian adalah mempertahankannya dalam ketentuan yang perlindungan dan produksi. Jika tanah keseimbangan dan perbaikan dicapai dengan manipulasi penggembalaan mengalami erosi, praktik-praktik pengawasan meningkatkan jumlah vegetasi sehingga meningkatkan suplai makanan infiltrasi air. Dimana erosi yang telah dihasilkan mempercepat vegetasi penutup tanah mungkin tanah, yang utama dari pengelolaan padang rumput keteraturan pemanfaatan vegetasi sehingga paling ekonomis dari stabil, pemeliharaan tanah dan vegetasi seringkali mungkin Bahkan ketika tanah penggembalaan mungkin keseimbangan memperbaiki tingkat pemulihan penuh dari menghasilkan ternak dan memerlukan waktu yang lama atau menyangkut biaya yang sangat besar. Jika tujuannya adalah produksi makanan, investasi besar di daerah yang paling besar mengalami erosi mungkin tidak ekonomis. Di samping itu jika tujuan utamanya memperbaiki DAS, investasi yang agak luas dalam pengawasan erosi pada prinsipnya sumber-sumber pada aliran permukaan dan akibat erosi mungkin layak.

Jika padang rumput digunakan sesuai kapasitasnya, dan jika tanah dan air cukup dilindungi, pasti vegetasi penutup akan tersisa di atas tanah sepanjang waktu. Tidak semua vegetasi yang tumbuh di atas padang rumput dapat dipertimbangkan/ dianggap sebagai makanan ternak Jumlah makanan ternak yang dapat disediakan tumbuhan tergantung pada sesuatu sebagai pilihan dari hewan tersebut untuk dimakan, jenis yang dapat dimakan atau enak, jumlah herba yang dilestarikan harus tersisa pada tumbuhan yang menghasilkan cukup banyak tumbuhan pangan, dan kemampuannya menahan penggembalaan. Tumbuhan makanan ternak harus kuat bersaing dengan bentuk dan jenis vegetasi lain, mempunyai kebiasaan

penyebaran benih yang kuat atau kemampuan perkembangbiakan vegetatif dan sistem perakarannya diharapkan dapat bertahan terhadap variasi-variasi dalam air tanah dan temperatur dan terinjak-injak di peternakan.

Pengelolaan padang rumput harus didasarkan kepada keseluruhan makanan ternak yang dihasilkan oleh vegetasi. Bagaimanapun, perhatian khusus harus diberikan untuk memastikan jenis yang dapat menyediakan makanan ternak dalam jumlah besar dan yang harus dipelihara dalam kegiatan besar supaya pemeliharaan tegakan dalam kondisi yang memuaskan. Tumbuh-tumbuhan ini tidak harus dipangkas/ditebas melebihi batasnya yang aman sekalipun di sana muncul sedapat mungkin serba yang dilestarikan sisanya tidak dipangkas. Kapasitas penggembalaan tidak harus memasukkan pemanfaatan besar daripada tumbuh-tumbuhan yang kurang diperlukan karena di bawah praktik yang demikian tumbuh-tumbuhan yang lebih diperlukan dan tumbuh-tumbuhan yang enak akan tertebas berlebihan dan musnah. Sedapat mungkin melestarikan herba dan tidak ditebas atau sebagian tumbuhan ditebas, sampai di permukaan tanah, ini penting dalam pemeliharaan atau membangun kembali tanah dan kondisi DAS Yang baik. Kegiatan dan melimpahnya tumbuh-tumbuhan yang lebih diperlukan harus dipelihara untuk mencegah meningkatnya jumlah tumbuh-tumbuhan yang tidak diperlukan. Jika penggembalaan berada pada lereng yang curam atau tanah-tanah yang mempunyai sifat erosi tinggi kadang – kadang perlu memakai sekurang-kurangnya vegetasi yang telah ditunjukkan di atas.

Di padang rumput alam di Barat *United State* peraturan utama telah dikembangkan bahwa tidak lebih dari 50% volume dari jenis makanan ternak yang lebih diperlukan hilang oleh penggembalaan ternak. Diikuti jenis lain yang kurang diperlukan akan tetap menerima akibat penggembalaan. Tentu saja, kondisi di daerah semi-arid temperate tidak sama dengan daerah padang rumput lain di daerah humid temperate, atau di daerah padang rumput tropis. Di daerah yang terakhir, sesungguhnya jarang 20% dari rumput dikonsumsi oleh peternakan.

Jumlah herba yang dilestarikan yang dibiarkan setelah penggembalaan akan mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan akar tumbuhan makanan ternak. Suatu ringkasan dan analisa yang baik sekali dari literatur pada pengaruh perontokan daun terhadap pertumbuhan dan perkembangan akar penebasan rumput untuk penggembalaan atau tujuan lain, pelestarian herba daripada mengaktifkan pertumbuhan tumbuh-tumbuhan memperlambat

pertumbuhan akar dan panjang akar sebab konsentrasi akar yang lebih besar berada di lapisan yang lebih atas dari tanah. Dengan segera pengaruh daripada penebasan tumbuhan mengaktifkan jaringan tunas yaitu pemindahan cadangan dari akar ke tunas untuk menstimulir/merangsang pertumbuhan kembali. Sebenarnya, pertumbuhan tumbuhan seluruhnya berkurang dan jika proses perontokan daun berlanjut, tumbuhan menjadi melemah, lebih rentan terhadap kondisi lingkungan yang merugikan dan akhirnya mungkin mati. Pengaruh relatif daripada penggembalaan atau perontokan daun lainnya tergantung pada jumlah penebasan herba yang dilestarikan dalam frekuensi dan interval pengulangan perontokan daun.

Kondisi perakaran pada kenyataannya berhubungan dengan respon DAS padang rumput. Perakaran di tempat yang lebih dangkal artinya range yang lebih sempit dari tumbuh-tumbuhan yang dapat mengambil air, kurangnya air yang tersedia berarti kurangnya pertumbuhan padang rumput untuk makanan ternak dan kurangnya kapasitas penggembalaan. Sistem perakaran yang lebih kecil berarti sistem penyimpanan akar lebih kecil dalam tumbuh-tumbuhan dan kurang kuat dalam menghadapi kesulitan. Perakaran yang kurang berarti pengkerasan pada tanah lebih lemah dan oleh karena itu kerentanan terhadap erosi lebih besar.

4. Pemetaan Padang Rumput untuk Makanan Ternak

Pada padang rumput dimana tersedia cukup makanan ternak untuk mendukung peternakan mungkin daerah tersebut konsentrasi dan penggembalaan yang berlebihan akan berkembang karena distribusi yang jelek dari penggembalaan. Hewan-hewan cenderung berkerumun di sekitar tempat-tempat perairan, daerah-daerah bawah, tempat pemerahan susu dan di lembah-lembah yang lebih lembab dimana makanan ternak mungkin lebih banyak dan enak. Hasil ini dalam penggembalaan yang berlebihan dan penginjakan tanah.

Gaya pemadatan tanah oleh peternakan adalah lebih besar daripada yang diketahui pada umumnya. Pada dasarnya beban gangguan, menurut Lassen, Lull dan Frank domba memadatkan tanah kira-kira 30 pound/inci, lembu/sapi 50 pound. Manusia dewasa rata-rata memadatkan 6-15 pound, tergantung pada tipe sepatu yang dipakai, *crawler* traktor menekan 3-8 pound/inci, *wheel* traktor 20-28 pound/inci². Derajat kekompakan akibat penggembalaan tergantung pada intensitas yang digunakan. Dalam percobaan keragaman tapak penggembalaan pada clay loams dan sandy loams, ditemukan bahwa berat volume dari lapisan tanah, kedalaman 0-1 inci, bervariasi dari 1,54-1,91 pada tapak yang rusak berat, dibandingkan dengan :1,04-1,51

pada pada tapak yang tidak ditebas dan yang ditebas ringan (untuk peternakan). Porositas tanpa kapiler untuk dua tapak bervariasi dari 3-10%, dan 15-33%, berturut-turut. Kepadatan sampai beberapa inci di atas tanah. Lapisan permukaan cukup laju infiltrasi selama aliran sungai dan laju sebagian besar dibatasi terbentuknya yang demikian relatif tipis padat hingga pada dasarnya mempengaruhi badai (*storm*) dan kemudian mempengaruhi erosi.

Dalam keadaan itu mungkin ada bagian-bagian dari padang rumput yang jauh dari air atau sebaliknya kurang menarik yang mana ditebas hanya sedikit dan akan menyediakan makanan ternak lebih banyak daripada sekarang. Pada padang rumput bagaimana topografinya berat, sebenarnya tidak mungkin dapat digunakan seragam. Bagaimanapun, dengan membuat investasi khusus, dan melalui pengurangan praktik-praktik pengelolaan padang rumput yang khusus, seringkali mungkin menghasilkan perhatian yang sungguh-sungguh jika keseluruhan jumlah hewan seimbang dengan kapasitas penggembalaan.

Di daerah arid (kering) dan semi-arid (semi kering), suatu penyebaran yang memadai daripada tempat-tempat pengairan (irigasi) pada padang rumput adalah salah satu cara yang terbaik untuk menjamin penyebaran (distribusi) yang baik daripada hewan-hewan ternak. Prinsip daripada sejumlah kecil peternakan dalam kelompok kecil akan mengingatkan sebab praktik ini sekarang mendapat kesempatan untuk berkembang pada tempat-tempat pengairan (irigasi) kecil yang mungkin musiman dalam karakter tetapi yang memberi hewan-hewan cukup waktu untuk memanfaatkan secara khusus daerah-daerah padang rumput. Tempat-tempat pengairan (irigasi) sebaiknya diberi jarak untuk menghindari jejak yang berlebihan dan perjalanan jarak jauh oleh hewan-hewan.

Dengan sengaja menggembalakan hewan ternak dalam daerah yang ditebas ringan, terutama selama waktu ketika air dan fasilitas penting yang lain untuk penggembalaan tersedia, adalah suatu praktik yang diperlukan sekali. Ini, tentu saja, menarik hewan-hewan dari bagian tersebut pada padang rumput yang mana mereka lebih terbiasa menggunakannya.

Praktik "*bedding out*" atau perdagangan (*penning*) hewan ternak jauh dari desa-desa atau pusat keramaian untuk menghindari pengaruh daripada jejak dan dari pusat pemukiman seringkali sangat diperlukan pembangunan tenda-tenda tingkat menengah sementara yang kecil dimana kumpulan ternak hanya disimpan satu malam atau paling lama beberapa hari akan membebaskan daerah utama dari pemanfaatan yang

dipusatkan. Memagar adalah suatu hal yang perlu untuk pengelolaan padang rumput yang efektif dan fasilitas padang rumput lainnya seperti lumbung pemerahan susu dan tempat, perlindungan juga sangat bermanfaat dalam kontrol pemeliharaan daripada pergerakan (perubahan) peternakan. Pemagaran terutama sekali berguna untuk memisahkan padang rumput ke dalam unit-unit untuk pengontrolan daripada penggunaan musiman dan pelaksanaan rencana-rencana untuk menanggukkan penggembalaan dan daur penggembalaan.

Dalam beberapa situasi, pemberian makanan di kandang adalah memungkinkan paling tidak untuk beberapa kali dalam setahun. Ini mungkin dapat dipraktikkan untuk pemeliharaan DAS padang rumput yang memuaskan kondisi memanen makanan ternak dengan tangan lebih baik daripada membiarkan ternak makan rumput sendiri. Pemberian makanan di kandang untuk beberapa kali dalam setahun memungkinkan penggembalaan yang lebih berat untuk sisa tahunan daripada yang sebaliknya adalah mungkin. Merumput (dengan tangan) atau mesin pemanen adalah praktis dimana upah buruh rendah atau dimana nilai daripada produk hewan ternak adalah relatif tinggi. Ini telah berhasil dipraktikkan di Negara Alpine di Eropa, dan ini meningkatkan luas daerah dimana jumlah hewan banyak, lahan dan sumber-sumber lainnya untuk mengintensifkan produksi makanan ternak tersedia dan kemungkinan pendapatan daripada hasil ternak adalah baik.

Beberapa bentuk penggembalaan musiman daripada padang rumput biasanya sangat diperlukan sekali dimana gembala-gembala beroperasi melewati daerah-daerah dengan variasi dalam elevasi dan dalam perkembangan musiman vegetasi. Tujuan daripada variasi musiman dalam penggembalaan adalah untuk memberi kesempatan kepada tumbuhan makanan ternak untuk menutup kembali secara penuh dari penggembalaan sebelumnya dan mengembangkan penyimpanan yang memadai (cukup) dalam akar dan memproduksi biji untuk regenerasi. Tentu saja, dari sudut nutrisi (ilmu gizi) hewan, waktu yang paling penting menggunakan makanan ternak adalah ketika masih hijau dan pertumbuhan bagus, tetapi harus juga dipertimbangkan perkembangan dan syarat-syarat pertumbuhan daripada tumbuhan itu sendiri.

Waktu yang paling kritis untuk menebas herba-herba yang dilestarikan adalah ketika tumbuh-tumbuhan membentuk persediaan biji. Penggembalaan pada waktu ini, yang seringkali dimulai pada musim kering, berarti penebasan daripada perkembangan makanan dan penyimpanan sementara dalam daun yang akan bergerak secara normal ke dalam akar untuk penyimpanan dimulai pada pertumbuhan tahun

berikutnya. Kurangnya uap air tanah atau kondisi-kondisi merugikan lainnya mungkin menghalangi pertumbuhan lebih lanjut dan produksi bahan makanan untuk penyimpanan setelah penggembalaan, sehingga penggunaan padang rumput harus direncanakan untuk meminimalkan penggembalaan di daerah yang sama tahun ke tahun pada waktu kritis ini. Penundaan total berkala (periodik) selama waktu ini diperlukan sekali tetapi dalam musim awal penggembalaan ringan dan penggembalaan sedang setelah kematangan hasil makanan ternak biasanya akan Pemelihara padang rumput dalam kondisi yang baik. Salah satu pertimbangan penting lainnya dari sudut pengelolaan DAS adalah bahwa penggembalaan selama waktu tanah sangat basah harus dikontrol untuk mengoptimalkan kerusakan yang akan terjadi berupa penggenangan tanah pemadatan tanah.

Daur penggembalaan adalah suatu metoda mencapai manfaat daripada penggunaan musiman. Variasi pola daur penggembalaan dapat disusun, tetapi pola yang dipilih harus cocok dengan musim pertumbuhan vegetasi. Daur penggembalaan bukan hanya pemecahan masalah (solusi) dan bukan sesuatu yang lebih daripada memberi sedikit keuntungan pada vegetasi yang penting dalam pemeliharaan itu sendiri dalam kompetisi dengan vegetasi lain ternak. Hasil yang sama dapat dicapai di bawah dengan pengaturan panjang periode penggembalaan pemberian makanan ternak di kandang untuk terlalu banyak hewan untuk suplai makanan, berlebihan. dan menginjak hanya akan keras penggembalaan dibatasi seperti penggembalaan. Tidak ada pengganti untuk keseimbangan jumlah suplai makanannya.

Produksi makanan ternak pada lahan yang baik untuk ditanami dan penggembalaan beberapa kondisi atau penggantian penggembalaan. Jika penggembalaan yang di bawah rotasi atau di bawah pengawasan hewan ternak dan seringkali berarti suatu keberhasilan daripada kemudahan perbaikan penggenangan lahan untuk penggembalaan. Jadi, perkembangan daerah yang kecil untuk irigasi produksi makanan ternak mungkin mempunyai suatu arti penting yang memungkinkan perkembangan retasional, musiman, atau beberapa sistem penggembalaan lain yang akan menyumbang peningkatan kondisi daerah DAS padang rumput. Untuk ini, daerah yang kecil, pemakaian praktik-praktik produksi intensif termasuk pemakaian pupuk kimia, mungkin terbukti memperbaiki perekonomian.

5. Memperbaiki Padang Rumput yang Memburuk

Beberapa padang rumput yang sangat buruk bahwa pencocokan sederhana dalam praktik-praktik, pengelolaan tidak akan cukup dan

praktik-praktik perbaikan lain harus mulai dilakukan. Beberapa padang rumput tidak mempunyai jenis yang penting untuk memproduksi biji, dan peningkatan produksi dan penutupan. Di sini mungkin perlu untuk memperkenalkan biji-biji dengan cara buatan dan yang penting sekali menambangkan pembangunan tanah dan memproduksi tumbuh-tumbuhan makanan ternak. Mungkin kadang-kadang perlu memusnahkan vegetasi yang ada dan mengganti dengan penaburan kembali jenis-jenis rerumputan, dengan kedua nilai DAS dan makanan ternak. Berbagai-macam hal struktur teknik proyek pembangunan kembali aliran sungai permanen daripada Sungai Blaauwkrantz di Afrika Selatan, meliputi tingkat rintangan batuan melewati lereng dan jalan-jalan drainase dan penaburan (biji) kembali dengan rumput-rumputan seluas 4.000 acre di daerah hulu sungai. Selama 5 tahun pertama mengikuti perlakuan musim kering aliran diperpanjang terus dan terus ke hilir hingga dalam 5 tahun aliran sungai mengalir sepanjang tahun.

Keberhasilan pendirian penaburan kembali rerumputan biasanya tidak bisa dikerjakan semudah menabur biji di atas tanah. Seringkali lebih perlu mengerjakan praktik-praktik budaya khusus seperti membajak merusak persaingan vegetasi yang tidak penting dan perlu sekali menyediakan persemaian untuk mengembangkan jenis-jenis yang penting. Selanjutnya, penting mengembangkan semai, karena tidak ditebas hingga mereka dapat memperoleh kekuatan penuh dan menempatkan akar secukupnya mengambil dari zona yang lebih rendah daripada suplai air. Jika penaburan kembali mempercepat erosi, alur kontur mungkin diperlukan untuk menahan tanah dan menahan uap air yang diperlukan untuk pengembangan. Di daerah arid (kering) dimana uap air yang cukup tidak selalu tersedia untuk pengembangan semai, setelah praktik yang disebut *pitting* (melubangi) kadang-kadang bermanfaat. *Pitting* merupakan penggalian dengan lebar 10-12 inch dan kedalaman 2-3 inch. Tindakan ini seperti kolam kecil untuk suatu presipitasi yang mungkin jatuh. Suatu sistem tanggul yang sederhana dirancang membentang drainase air. Juga mungkin bermanfaat di daerah arid (kering) untuk meningkatkan suplai air untuk pengembangan tumbuh-tumbuhan. Hanya ada beberapa kemungkinan untuk membantu pengembangan vegetasi penutup yang baru pada padang rumput yang mungkin daerah DAS yang kritis. Dimana nilai produk tinggi atau masalah erosi dan aliran permukaan adalah kritis, penambahan pupuk, pemulsaan, dan sebagainya akan memberi tambahan pendorong bagi pengembangan vegetasi dan produksi makanan ternak dari daerah-daerah yang demikian.

Peralatan Teknik dalam Pengelolaan Daerah Aliran Sungai

Dalam membangun perencanaan sebuah DAS yang spesifik diperlukan banyak waktu untuk memberikan tingkat pengendalian air yang tinggi dan lebih positif, yang kemudian dapat diantisipasi dari pembuatan langkah pengendalian vegetatif itu sendiri. Dalam hal ini keberadaannya sangat diperlukan, dimana kemungkinan sering menggunakan peralatan teknik untuk melengkapi pengendalian vegetatif, agar dapat menjamin tingkat perlindungan atau pengembangan air yang diinginkan.

Peralatan teknik juga berkenaan atau mengenai alat-alat mekanik atau bangunan-bangunan pengendali yang dibuat manusia yang meliputi pemindahan tanah, atau bahan-bahan konstruksi seperti bangunan beton, batu, logam industri atau kayu. Peralatan tersebut dirancang dan dibangun sesuai dengan standard teknis yang kuat dan untuk memberikan hasil-hasil pengendalian. Kemampuan untuk meramalkan tindakan pengendalian yang lebih efektif dengan ketelitian yang tinggi, ditunjukkan oleh faktor keamanan yang tinggi dan dapat dipertanggung jawabkan. Kerja peralatan tersebut berdasarkan prinsip-prinsip mekanis dan hidrologis serta kecil kemungkinannya dipengaruhi oleh iklim, musim, jenis tanah, penutup tanah dan topografi, yang kesemuanya merupakan elemen-elemen penting dalam efektifitas pengendalian vegetatif.

Tidak ada dua DAS yang sama, masing-masing satu sama lain memiliki kondisi fisik yang berbeda. Jenis-jenis masalah dijumpai perbedaan yang besar, seperti keadaan lokasi merupakan suatu masalah dalam DAS. Kemampuan untuk menciptakan struktur pengendalian

pada kondisi yang pas dan memecahkan masalah-masalah spesifik DAS, membuat hal tersebut sebagai alat kunci dalam pembangunan perencanaan perlindungan DAS.

Penggunaan pengendalian vegetatif harus selalu mempertimbangkan tipe dasar dari pengelolaan pengendalian DAS dan akan direncanakan untuk setiap wilayah yang mungkin dari DAS tanpa memperhatikan jenis masalah DAS yang dijumpai. Bangunan pengendali selalu dipertimbangkan untuk melengkapi dan tidak sebagai pengganti pengendalian vegetatif. Dalam berbagai tempat bangunan pengendali digunakan untuk melindungi pengendalian vegetatif, dan bila diijinkan dasar pengendalian ini dibangun pada tempat-tempat yang tidak favorable atau di bawah kondisi dimana pengendalian tersebut dapat berfungsi secara efektif tanpa ditambah perlindungan.

Seluruh bangunan pengendali memerlukan tingkat pengetahuan teknik, bangunan tersebut harus dirancang dan direncanakan oleh tenaga teknis yang mampu. Secara alami bangunan pengendali biasanya terpusat dan mengandung aliran air. Penempatan bangunan yang tidak benar atau penempatan dengan perancangan yang salah dapat menambah bahaya yang lebih besar dari pada masalah DAS yang aslinya, dan kegagalannya menimbulkan kerusakan yang jauh lebih parah dari pada kondisi bangunan yang dirancang untuk melindungi kembali. Perencana-perencana yang tidak mempunyai asisten teknik yang memenuhi syarat segera dapat menyerahkan sepenuhnya perencanaan, perancangan dan perhitungan hidrologisnya diperiksa oleh petugas teknik yang familier dengan kondisi fisik dan hidrologis dari suatu DAS yang spesifik.

Bangunan pengendali umumnya lebih mahal dari pada pengendalian vegetatif, karena seluruh biaya bangunan tersebut memerlukan modal. Pengendalian tergantung pada vegetasi, yang mempunyai biaya instalasi rendah dan dibantu oleh pertumbuhan alam menuju efektifitas yang maksimum. Akan tetapi perbedaan biaya ini seringkali diimbangi oleh segera efektifnya bangunan pengendali dibandingkan dengan periode pertumbuhan vegetasi yang panjang. Kondisi-kondisi DAS yang dipelajari harus dievaluasi secara teliti sebelum seleksi akhir dari bentuk pengendalian yang lebih ekonomis yang akan dibuat.

Dua jenis bangunan pengendali dipertimbangkan dalam pembangunan perencanaan suatu DAS, yaitu bangunan pengendali untuk perlakuan lahan dan bangunan pengendali untuk perlindungan DAS. Perbedaan yang utama salah satunya adalah ukuran dan

penggunaannya. Bangunan pengendali untuk perlakuan lahan ukurannya relatif kecil. Bangunan tersebut terutama dibuat untuk pengendalian erosi dan meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah. Kelompok bangunan pengendali ini memiliki satu keistimewaan karakteristik, yaitu pada banyak tempat. Manfaat utama dari bangunan pengendali ini terjadi di tempat (*on-site*) yaitu pada lapangan dan lahan pertanian dimana bangunan tersebut dibuat. Bangunan tersebut mempunyai pengaruh yang sangat nyata pada keselamatan DAS secara menyeluruh, dan tidak menghasilkan pengaruh-pengaruh yang dapat diukur dengan teliti mengenai kerusakan atau masalah-masalah lokasi spesifik di dalam DAS. Yang termasuk dalam kelompok bangunan pengendali ini adalah teras, bangunan pengalih (*deversions*), bangunan anak sungai, bangunan penerjun (*drop structures*), penyumbatan selokan (*gully plugs*), kolam atau tangki (*ponds or tanks*) dan saluran drainase lahan.

Bangunan pengendali jenis kedua biasanya diarahkan untuk melindungi DAS. Bangunan tersebut terutama direncanakan untuk pengelolaan aliran air setelah aliran tersebut meninggalkan lahan dan tanah hutan yang akhirnya menjangkau cabang dan anak sungai kecil. Bangunan pengendali untuk perlindungan DAS ukurannya relatif besar dan dirancang untuk memperbaiki masalah-masalah air yang spesifik pada lokasi-lokasi yang pasti atau tetap dalam suatu DAS. Ciri-ciri istimewa dari kelompok bangunan pengendali ini adalah bahwa manfaat-manfaat utama terjadi di luar tempat (*off site*) atau di daerah hilir (*down stream*) dan tidak terjadi pada tempat dimana bangunan tersebut dibuat. Bangunan pengendali tersebut dibuat untuk mengendalikan erosi dan sedimentasi, mencegah banjir, drainase utama, penyediaan air dan pengisian kembali air bumi (*ground water recharge*). Termasuk dalam kelompok bangunan ini adalah bangunan pengendali selokan besar (*large gully*), sedimen dan longсорan (*debris basin*), bangunan penahan banjir (*flood water detention measures*), saluran pembuangan banjir (*flood ways*) dan pemeliharaan saluran (*channels improvement*), cadangan persediaan air (*water supply reservoirs*) dan bangunan saluran air (*water spreading structures*).

Bilamana masalah-masalah di bawah ini diperhitungkan dalam pembangunan perencanaan suatu DAS, maka pertimbangannya akan menambah kegunaan bangunan pengendali untuk melindungi DAS dalam pengendalian vegetatif :

1. Tingginya nilai tanah atau kemungkinan kehilangannya tempat tinggal diperlukan batas puncak aliran banjir pada ketinggian tertentu.

2. Kondisi iklim yang ada, musim kemarau atau musim dingin akan sangat mengurangi efektifitas pengendalian vegetatif.
3. Topografi, jenis tanah, geologi atau penggunaan lahan (*land use*) pada lahan-lahan DAS, membuat pengendalian vegetatif yang memadai tidak fleksibel.
4. Pengendalian *run off* yang diperkirakan melebihi maksimum yang diharapkan dari pengendalian vegetatif.
5. Diperlukan dengan segera perlindungan banjir atau pembangunan air.
6. Kepastian jumlah air yang tersimpan untuk memenuhi kebutuhan pertanian, rumah tangga, industri, rekreasi, persediaan air, dll.
7. Kecepatan aliran saluran akan melebihi kecepatan yang aman untuk penutupan vegetasi.
8. Pengendalian vegetatif diperlukan sementara untuk melindungi kerusakan sedimen banjir, walaupun pertumbuhan pada tingkat efektifitas maksimum.
9. Bangunan pengendali tersebut diinginkan atau diperlukan untuk penggunaan lahan yang lebih efektif dari pada pengamanan yang hanya dilindungi oleh pengendalian vegetatif.

A. Data Dasar

Perencanaan dan perancangan seluruh bangunan pengendali harus berdasarkan pada data-data yang baik yang telah tersedia. Hal ini harus ditanamkan dalam ingatan bahwa keamanan dan harapan hidup dari kebanyakan bangunan pengendali dipengaruhi langsung oleh kualitas data dasar yang digunakan dalam perencanaan tersebut. Pada beberapa lokasi dengan mudah tersedia data-data yang memadai mengenai : curah hujan, limpasan permukaan (*run off*) dan aliran air (*stream flow*). Pada lokasi-lokasi yang lain hanya sedikit sekali atau barangkali tidak ada data dasar yang dapat dikumpulkan. Dalam hal yang demikian, maka diperlukan tenaga teknik untuk mentransformasi data dasar dari lokasi-lokasi lain yang memiliki karakteristik curah hujan dan *run off* yang sama. Hal ini dapat dikerjakan oleh tenaga yang ahli dengan tingkat keamanan yang layak dalam penyesuaian dan penggunaan data transformasi. Angka-angka rumus matematika dikembangkan sebagai dasar pada penelitian hidrologi, yang mana dapat dilakukan bilamana data dasar tidak cukup tersedia. Juga rumus-rumus empirik dikembangkan dan digunakan sebagai upaya terakhir dimana tingkat keamanan yang tinggi tidak diperlukan. Metode selengkapnyanya dan rumus untuk menentukan keperluan perencanaan

dan perancangan terdapat dalam kebanyakan buku-buku hidrologi pada umumnya dan publikasi khususnya dalam daftar referensi pada akhir bab ini.

B. Teras

Teras adalah bangunan saluran melintang lereng untuk menampung aliran permukaan dari areal DAS sebelum mencapai kecepatan yang cukup untuk merusak lahan. Teras tersebut dibangun berurutan pada lereng dan setiap saluran dibuat bertingkat tergantung pada kegunaan untuk apa teras tersebut dibangun. Teras dengan saluran-saluran bertingkat membawa kelebihan *run off* pada kecepatan yang aman menuju *outlet* yang telah dibuat atau yang telah ada secara alami. Tingkatan teras umumnya dirancang untuk menampung *run off* yang diduga dari "*design storm*", tetapi dalam beberapa keadaan teras dirancang dengan *outlet*. Tanpa *outlet* teras hanya dapat digunakan pada tanah-tanah bertekstur ringan yang mempunyai kapasitas absorpsi untuk meningkatkan infiltrasi dengan harapan *run off* tidak terjadi *over topping* pada punggung bukit teras. Sistem teras kemungkinan dibangun pada lahan pertanian, padang rumput, kebun buah-buahan dan dalam keperluan yang ekstrim pada lahan-lahan hutan. Efektifitas perkebunan tanaman baru dapat ditingkatkan lebih besar oleh pembuatan teras-teras pada lereng sebelum penanaman. Bilamana digunakan pada lahan-lahan yang diolah, hal ini penting sekali bahwa pengolahan kontur diikuti dalam pembuatan tingkatan di antara teras.

Jarak teras biasanya bermacam-macam kebalikan dengan kecuraman lereng, yaitu pada kecuraman yang meningkat, maka jarak antar teras semakin berkurang. Teras di USA jaraknya disesuaikan berdasarkan rumus berikut :

Areal dengan rata-rata curah hujan tahunan kurang 22 inchi:

$$VI = (S+4)/2$$

Areal dengan rata-rata curah hujan tahunan antara 22-30 inchi :

$$VI = (S+3)/2$$

Areal dengan rata-rata curah hujan tahunan lebih dari 30 inchi:

$$VI = (S + 2) / 2$$

dimana : VI = Kedudukan jarak vertikal (*feet*)

S = Kelerengan lahan (*feet/1 00 feet*)

Jarak vertikal dikonversi ke jarak horizontal dengan mengalikan 100/S. Rumus lain yang bisa digunakan untuk menentukan jarak antar teras adalah :

Israel : $h = 10 p + 200$, dimana h : jarak vertikal (cm), p : gradien (%). Algeria dan Spanyol : $H^3 = 2,6 p$, dimana H : jarak vertikal (m), p : gradien (%). Tingkatan teras harus dibuat pada tingkatan yang tidak menghasilkan kecepatan erosi untuk masing-masing jenis tanah. Rata-rata kecepatan maksimum yang aman untuk tanah-tanah berpasir adalah 1,5 feet/sec dan 2 feet/sec untuk jenis tanah yang lain.

Keperluan areal potongan melintang untuk teras biasanya didasarkan pada kapasitas menahan *run off* dari sedikitnya sekali dalam 10 tahun frekuensi *storm*. Hal ini diperlukan sekali bahwa teras dibuat dengan potongan melintang yang dengan mudah dapat dipindahkan oleh peralatan pertanian yang biasa digunakan. Teras kemungkinan dibuat dengan sisi lereng yang bisa dilakukan pengolahan dari segala teras yang dipelihara rumput sepanjang waktu. Pemeliharaan teras untuk membuat ukurannya sesuai dengan aslinya adalah penting. Ketentuan tersebut diperlukan untuk pemeliharaan setiap tahun. Kegiatan pemeliharaan meliputi pemindahan lumpur yang terbentuk di atas teras, pemeriksaan akhir tingkatan teras untuk mengetahui bahwa teras terbuka secara penuh, memperkuat bagian bawah pada punggung teras, dan pengerukan untuk memelihara ukuran punggung bukit serta saluran yang memadai.

Bagian tersebut di dunia dimana tenaga kerja dan batu tersedia melimpah yang berguna untuk membangun plengsengan teras, terutama pada lereng-lereng yang curam dan tanaman yang bernilai tinggi dapat tumbuh. Bangunan kecil jenis ini kadang-kadang digunakan pada dasar tanaman, kebun buah-buahan. Beberapa hal dapat dipertimbangkan seperti keperluan pembuatan teras juga meliputi pembangunan sistem pembuangan air. Pada lereng yang curam dan kecepatan air yang kemungkinan tinggi, maka saluran-saluran dengan pasangan batu sering digunakan.

C. Bangunan Pengalih (*Diversions*)

Adalah saluran individual yang dibuat melintang lereng yang digunakan untuk menahan aliran permukaan *run off* dan menyalurkan ke *outlet* yang lebih aman. Penampang lintang saluran pengalih (*diversions*) ini umumnya dibuat sama dengan penampang lintang dasar teras yang luas untuk memudahkan pengerjaan dengan peralatan pertanian. Pada lereng-lereng yang curam atau pada keperluan kapasitas yang besar tidak mungkin dibuat penampang lintang dengan peralatan pertanian. Dalam hal seperti ini jembatan atau jalur yang landai barangkali diperlukan pada pemilihan lokasi.

Saluran pengalih dapat digunakan pada lahan-lahan yang diolah, padang rumput atau tanah hutan, akan tetapi dalam semua hal saluran dan areal di sekitarnya dapat dipelihara rumput yang permanen. Saluran pengalih (*diversions*) pada lahan-lahan yang dikelola dilindungi oleh jalur rumput penyangkai tidak kurang dari 50 feet terletak di atas saluran untuk mengurangi kandungan sedimen yang ditahan *run off*. Saluran pengalih digunakan untuk tujuan-tujuan berikut :

1. Untuk mengurangi panjang lereng dan ukuran DAS.
2. Untuk mengalihkan *run off* yang keluar saluran yang aktif.
3. Untuk mengalihkan jalan aliran air dari bangunan pertanian.
4. Untuk melindungi lahan bagian bawah dari aliran yang berlebihan.
5. Untuk menghilangkan hulu sungai dari lahan-lahan yang dibuat teras dimana puncak teras ditempatkan beberapa jarak dari puncak DAS.

Saluran pengalih dirancang dengan kecepatan tinggi yang aman untuk jenis tanah dan penutup pada saluran. Kecepatan yang aman berkisar antara 1,5 *feet/sec* pada tanah berpasir yang gundul sampai maksimum 7 *feet/sec* pada saluran yang tertutup dengan jenis rumput yang bertahan lama. Areal penampang lintang saluran pengalih memberikan kemampuan menahan *run off* setiap 10 tahun tanpa dilalui puncaknya.

Pemeliharaan saluran pengalih dilakukan dengan penyiangan secara periodik yang penting untuk menghindari kepadatan pertumbuhan semak yang mana akan menghalangi aliran.

1. **Outlet dan Anak Sungai**

Outlet dan anak sungai yang dibuat adalah salah satu yang sangat lazim atau umum sebagai dasar bangunan pengendali untuk perlakuan lahan. Keberhasilan fungsi sistem teras dan saluran pengalih tergantung pada saluran *outlet* yang cukup memadai.

Pada umumnya tempat yang lebih baik untuk *outlet* anak sungai adalah pada anak sungai yang terbentuk secara alami dimana kemiringan atau kelerengan saluran biasanya agak merata (*flattest*) pada DAS. Kelerengan lahan yang alami dengan dibatasi kondisi aliran dan air biasanya cocok untuk pertumbuhan vegetasi. *Outlet* tidak dapat dibuat pada anak sungai yang alami, jika mungkin *outlet* tersebut akan ditempatkan sepanjang garis pagar atau pagar tanaman untuk mengeliminasi gangguan *outlet* pada bagian pusat lahan.

Outlet dan anak sungai dibuat berbentuk trapesium (*fait bottom*), parabolik atau penampang lintang berbentuk "V" yang tergantung pada perlengkapan bangunan yang dapat digunakan. Pada umumnya potongan berbentuk parabolik atau cawan (*saucer*) adalah sangat efisien dan lebih mudah dibuat.

Kecepatan aliran yang aman merupakan kriteria dasar dalam perencanaan untuk *outlet* dan anak sungai. Setelah kapasitas yang diperlukan telah ditentukan, kemudian saluran dibuat pada tingkat yang menghasilkan kecepatan yang aman. Bilamana kecepatan yang aman tak dapat dihasilkan pada saluran yang telah dibuat maka bangunan penerjun (*drop structures*) diperlukan pada tempat-tempat yang telah ditentukan atau dipilih. Pemeliharaan yang tepat adalah penting untuk memastikan *outlet* dan anak sungai dapat beroperasi dengan aman dan berkelanjutan. Selama anak sungai dan *outlet* mengalirkan sejumlah air yang besar, beberapa kerusakan pada saluran terjadi secara cepat dan meluas pada daerah dimana pembangunan kembali secara lengkap diperlukan untuk mencegah terbentuknya selokan.

Pada beberapa daerah semi-arid yang mempunyai curah hujan yang pendek dan terdapat angin kencang (*intense storm*) saluran pengalih dibuat atau digunakan pada saluran-saluran yang sebentar-sebentar untuk mengalirkan limpasan air (*storm water*) secara langsung pada lahan-lahan yang dikelola dan padang rumput.

Pada bagian tertentu saluran pengalihan ini dibuat dari bahan sementara yang berupa semak, pagar kawat dan material tanah. Kadang-kadang bangunan saluran pengalih yang terbuat dari batu dibuat juga. Kemungkinan dapat dirancang dan dibuat bangunan saluran pengalih dan sistem penyaluran air seperti teras dalam satu unit untuk memberikan nilai kegunaan yang lebih efisien dari pengalihan air.

2. Bangunan Penerjun (*Drop Structures*) dan Penyumbatan Alur (*Gully Plugs*)

Tiga jenis yang prinsip dari bangunan penerjun dan penyumbat alur, yaitu bangunan pelimpah (*drop spillway*), *drop inlet* dan bangunan peluncur (*chute*). Semuanya mempunyai kegunaan yang sama yaitu untuk memperlambat aliran yang lebih aman dalam saluran-saluran atau alur-alur pada tempat dimana dibuat tingkatan yang menghasilkan kecepatan yang melebihi kecepatan yang aman pada jenis tanah dan penutup vegetasi.

1. Bangunan-bangunan pelimpah (*drop spillway*) adalah terbuat dari bahan batu, semen dan kayu merupakan rintangan yang keras melintang sebuah saluran dengan puncak dindingnya terletak pada saluran atas dan bagian pinggirnya terletak pada batas saluran bawah. Tidak ada air yang tertampung dalam bangunan pelimpah.
2. *Drop inlet* terbuat dari bahan batu, semen, kayu atau isian tanah dengan bangunan beton, logam bergelombang seperti anak tangga dan tong. Bangunan tersebut dibuat untuk mengendalikan pada ketinggian di atas 8 feet. *Drop inlets* menampung aliran saluran pada tingkatan anak tangga, kemudian aliran dengan kecepatan yang rendah diteruskan melalui tong ke tingkat saluran yang lebih rendah.
3. Bangunan peluncur (*chute*) dibuat dari bahan batu, kayu, semen atau logam bergelombang. Bangunan tersebut hanya berupa saluran dengan lereng yang curam yang akan menimbulkan kecepatan yang tinggi melebihi kecepatan yang aman dalam saluran tanah. Bangunan peluncur tersebut salah satunya digunakan sebagai penghubung dengan bangunan-bangunan penampung isian tanah atau tergantung bangunan-bangunan yang dipasang dalam saluran-saluran pada tempat dimana kecepatan aliran melebihi kecepatan saluran yang aman.

Bangunan peluncur (*drop structures*) biasanya dirancang untuk mencegah *run off* selama 25 tahun. Ada beberapa jenis bangunan peluncur, perhatian yang khusus harus diberikan pada kondisi pinggir dan pelepasan saluran untuk menghindari kemungkinan rusaknya bangunan. pada sebagian besar instalasi, beberapa jenis peralatan bangunan kehilangan energi yang penting.

3. Perlindungan Tebing Sungai (*Stream Bank Protection*)

Sebagian besar masalah erosi tebing sungai terjadi pada sungai dengan areal drainase yang besar atau luas, dimana bangunan pengendali untuk perlindungan DAS lebih diperlukan dari pada jenis bangunan pengendali untuk perlakuan lahan yang kecil. Beberapa jenis bangunan pengendali dapat digunakan untuk mengendalikan erosi tebing pada sungai-sungai yang kecil. Perhatian harus selalu dilakukan dalam merencanakan pengendalian erosi tebing pada tempat-tempat khusus. Kemungkinan pengaruh pengendalian yang menjangkau sampai hilir sungai harus dipelajari dengan teliti untuk memastikan bahwa akibat pengaruh tersebut tidak lebih parah dari masalah-masalah aslinya. Banyak masalah-masalah erosi tebing pada

sungai-sungai kecil dapat dikendalikan dengan baik oleh penggunaan vegetasi. Bilamana penggunaan vegetasi tidak fleksibel, kemungkinan tebing-tebing tersebut dapat dilindungi dengan pasangan batu, pasangan kayu. Dermaga batu atau kayu untuk mengalihkan aliran dari tebing-tebing yang mengalami erosi pada sungai-sungai kecil, dalam beberapa tempat adalah berguna tetapi harus dipelajari dengan teliti pengaruh-pengaruhnya pada hilir sungai.

4. Kolam Perikanan atau Tangki (*Farm Ponds or Tanks*)

Kolam-kolam perikanan seringkali dibuat untuk menyimpan cadangan air. Di samping hal tersebut kemungkinan untuk irigasi pada areal yang kecil dari kolam-kolam perikanan dan kolam-kolam tersebut digunakan untuk memproduksi rekreasi dan untuk penyediaan air rumah tangga tidak akan diabaikan. Terdapat dua jenis kolam perikanan, yaitu kolam galian dan kolam yang ditambah dengan bangunan tanah yang diurug melintang saluran drainase yang ada.

Kolam galian memerlukan bentuk yang kecil lain dari suatu DAS yang cukup besar untuk persediaan air yang dibutuhkan. Hal ini kemungkinan tepat untuk penambahan pengalihan areal DAS ke dalam kolam dengan menggunakan bangunan pengalih atau teras. Pada tanah-tanah yang mudah meresapkan air (*porous*) kadang-kadang diperlukan batas galian dengan liat atau jenis lain yang kedap air.

Tanah pengisi bangunan harus dirancang secara teliti sebagai bangunan pelimpah darurat dengan kapasitas yang memadai sampai 50 tahun. Bangunan tersebut harus dibuat dari bahan-bahan yang relatif kedap air atau memiliki liat yang padat atau tembok beton. Dalam pemilihan tempat untuk kolam dipertimbangkan mengenai kemungkinan terjadinya polusi pada persediaan air. Dihindari adanya drainase yang berasal dari wilayah perkampungan atau pekarangan. Areal DAS akan lebih baik jika memiliki prosentase tingkat penutupan vegetasi yang tinggi, untuk menjaga endapan lumpur yang tertampung seminimal mungkin.

Hubungan yang sesuai antara areal kolam dan areal DAS adalah penting. Jika perbandingannya kurang dari 1 - 6 kemungkinan sulit untuk mempertahankan pengisian kolam selama periode kering yang panjang. Jika perbandingannya lebih dari 1 - 20, maka masalah pembuangan air mengalami kesulitan dan mahal, karena biaya bangunan pelimpah yang tinggi dan endapan yang berlebihan dalam kolam. Kolam-kolam yang dalam lebih baik pada wilayah permukaan yang luas, sedang kolam yang dangkal selayaknya untuk menahan kehilangan evaporasi seminimal mungkin.

5. Drainase Lahan (*Land Drainage*)

Drainase adalah pemindahan air yang berlebihan dari permukaan atau dari bawah permukaan lahan yang selayaknya meningkatkan kondisi tanah yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman. Tidak semua lahan dapat dibuat drainase yang bersifat ekonomis. Di bawah kondisi yang umum drainase lahan dapat diaplikasikan sebagai berikut :

- a. Kemampuan lahan (*capability of the land*)
Tanah-tanah yang dibuat drainase kemampuannya akan lebih baik untuk lahan-lahan pertanian dan padang rumput.
- b. Tersedapatnya *outlet* (*availability of outlet*)
Lahan yang dibuat drainase harus mempunyai *outlet* yang memadai yang akan memberikan pemindahan aliran air cukup cepat
- c. Tingkat keperluan drainase (*degree of drainage required*)
Drainase harus direncanakan untuk memberikan tingkat drainase yang diperlukan oleh pertumbuhan tanaman.
- d. Perlindungan lahan dari aliran lahan yang melimpah.
Lahan yang seringkali atau terjadi pelimpahan aliran dari sungai harus dilindungi oleh tanggul atau bendungan-bendungan sebelum pelaksanaan drainase dilakukan.

Outlet drainase menerima air dari sistem drainase lahan individu atau dari sistem drainase lahan serial. *Outlet* yang memadai adalah salah satunya dapat memindahkan air yang berlebihan dari areal drainase sebelum terjadi kerusakan tanaman. Ada dua jenis *outlet* drainase yaitu :

- a. *Outlet* berbentuk parit terbuka, yaitu dibuat dengan menggali saluran secara terbuka sesuai dengan ukuran dan tingkatan yang diperlukan. Jenis tersebut biayanya terhitung murah dan efektif untuk memindahkan permukaan air. *Outlet* jenis ini membuat kegiatan pertanian lebih sulit dan memerlukan pembersihan serta pemotongan pertumbuhan vegetatif secara periodik.
- b. *Outlet* atap tertutup, yaitu saluran tertutup yang menutupi dasar permukaan pada tingkatan dan elevasi yang spesifik. Jenis ini umumnya menerima buangan air dari sistem drainase atap (*tile drainage system*), tetapi juga digunakan untuk memindahkan permukaan air dari bagian areal yang dangkal atau rendah.

D. Bangunan Pengendali untuk Perlindungan DAS (*Watershed Protection Structural Measures*)

Bangunan pengendali untuk perlindungan DAS dirancang untuk Memecahkan persoalan pengelolaan air yang spesifik pada lokasi tertentu yang di dalamnya meliputi bangunan-bangunan untuk :

1. Pengendali Erosi

Selokan-selokan utama dan areal sumber sedimentasi yang kritis dalam DAS tidak hanya merusak atau membuat tidak bergunanya lahan yang sangat luas, tetapi juga menghasilkan bahan material yang menyebabkan sedimentasi pada hilir sungai. Jika tidak dikendalikan, permasalahan akan meningkat lebih serius dan memerlukan biaya yang tinggi untuk memecahkannya. Dalam pembangunan perencanaan DAS perhatian yang pertama harus ditujukan pada bangunan pengendali untuk mengendalikan erosi. Kekuatan erosivitas aliran air secara langsung tergantung pada kecepatan aliran, sebagai dasar tujuan setiap penurunan kecepatan atau memberikan permukaan lahan yang bertahan lebih lama dalam menahan kecepatan aliran yang tinggi tanpa semestinya terjadi erosi. Ada empat cara yang bisa diperlukan untuk mencapai tujuan tersebut, yaitu :

- a. Jika mungkin dengan cara memperluas areal penampang lintang dari selokan pada tempat dimana kecepatan aliran diharapkan tidak melebihi kecepatan yang aman pada jenis tanah dan penutup tanah yang dapat digunakan untuk ditempatkan dalam saluran. Cara ini sendiri tidak dapat digunakan pada lereng yang curam, dimana selokan dapat dibuat dengan baik tetapi dapat memberikan lebih efektif pada lereng-lereng yang kurang curam. Bilamana mungkin, pemeliharaan saluran kemungkinan memerlukan biaya yang sedikit untuk jenis bangunan pengendali selokan sekalipun memerlukan pemindahan tanah yang banyak. Mengetahui kecepatan aliran yang tidak menimbulkan erosi pada jenis tanah dan penutup tanah adalah penting untuk jenis pengendalian ini. Penelitian yang cukup memadai pada kondisi tempat tertentu diperlukan untuk menciptakan kecepatan aliran yang aman.
- b. Pada lereng-lereng yang curam dimana upaya memperbesar penampang lintang saluran itu sendiri akan menghasilkan aliran di atas kecepatan yang aman, maka perlindungan kemungkinan diberikan oleh pengendalian tingkatan saluran. Pengendalian tingkatan saluran dilakukan oleh pemasangan bangunan untuk menurunkan air pada tempat-tempat tersebut dalam saluran,

dimana kecepatannya melebihi kecepatan yang aman pada kondisi tanah dan penutup tanah tertentu. Cara ini menghasilkan struktur tingkatan menurun (*step down*) yang akan mengurangi aliran pada tempat-tempat kritis pada saluran. Antara bangunan-bangunan tingkatan menurun, saluran dibuat pada sebuah tingkatan dan penampang lintang yang akan menghasilkan kecepatan aliran yang tidak melebihi kecepatan yang aman pada kondisi saluran tertentu. Ada dua jenis bangunan tingkatan menurun yang umum digunakan, satu jenis digunakan untuk aliran saluran yang jatuh vertikal di atas permukaan yang tahan erosi seperti bangunan beton atau batu. Termasuk dalam jenis adalah: *chek dam*, bangunan pelimpah (*drop spillway*) dan *drop inlet*. Pada tempat dimana bangunan penerjun vertikal (*vertical drop*) tidak *feasible*, dalam hal ini kemungkinan sering dibuat sebuah saluran air atau bangunan peluncur yang terbuat dari bangunan beton, batu, kayu atau logam industri untuk menyalurkan aliran saluran di atas tingkatan-tingkatan lereng pada bagian tempat yang mempunyai kecepatan aliran yang kritis.

3. Bilamana hal ini tidak mungkin untuk mengendalikan kecepatan aliran dalam saluran, maka penutupan pelindung yang kedap erosi mungkin digunakan atau diaplikasikan pada areal yang mudah tererosi. Cara ini sering digunakan pada tebing sungai yang mudah tererosi (*eroding stream*) yang mana hal ini tidak *feasible* untuk merubah penampang lintang atau tingkatan saluran. Penutup pelindung yang dapat digunakan untuk melindungi areal yang mudah tererosi seperti tebing sungai meliputi pecahan batu (*rock rip-rap*), anyaman semak (*brush matting*), lembaran logam (*sheet metal pilling*), *cribs*, *revertment* atau bentuk bahan lain yang kedap erosi.

Bangunan pelindung dibuat pada salah satu bagian tebing sungai (*stream bank*) yang umumnya memiliki pengaruh pada sejumlah besar aliran (*stream*) baik di atas maupun di bawah bagian yang dilindungi. Oleh karena itu penting bahwa pertimbangan secara teliti diberikan pada masalah-masalah baru yang mungkin terjadi pada setiap hulu atau hilir sungai, yang mana akhirnya akan menimbulkan permasalahan yang lebih parah dari pada masalah aslinya.

Beberapa jenis penangkis searah (*current deflectors*) berhasil digunakan untuk menangkis aliran dengan kecepatan yang tinggi yang mengalir dari tebing sungai yang mudah tererosi. Dermaga kemungkinan dibuat untuk keperluan ini dengan bahan kayu atau

logam pada sudut yang mengarah aliran sungai. Juga bangunan batu (*masonry*) atau pecahan batu (*rock filled*), kotak kayu (*timber cribs*) digunakan sebagai deflector yang sesuai dengan kondisi dasar yang ada pada dasar sungai.

4. Salah satu alat yang sangat efektif untuk mengendalikan erosi selokan dan erosi alur adalah mengendalikan jumlah air dengan penyimpanan sementara. Bila kondisi fisik memungkinkan memenuhi, kerusakan aliran selama periode puncak *run off* mungkin ditahan dalam bangunan penampung dan dilepaskan secara pelan-pelan pada laju yang tidak menimbulkan kecepatan yang merusak saluran segera ke bawah. Cara ini digunakan pada semua ukuran selokan atau saluran, namun demikian penting sekali bahwa tempat penyimpan sementara yang memadai dapat mengatasi aliran air sedikitnya 50 tahun. Keperluan ini pada beberapa lokasi akan mengurangi kemungkinan selokan-selokan tersebut memiliki DAS yang luar biasa besar.

Perlakuan yang memadai pada lahan olahan DAS di atas masing-masing bangunan penahan dilakukan pada tempat sebelum beberapa bangunan dibuat. Sebaliknya bangunan penyimpan penampung sementara dengan cepat dikosongkan dari endapan lumpur sedimen dan pengendalian erosi efektif pada bangunan-bangunan yang rusak. Beberapa jenis bangunan penampung digunakan untuk maksud ini, asalkan *outlet* bekerja dengan perencanaan untuk menemukan tingkat keamanan saluran yang dilindungi. Untuk menghindari kerusakan oleh aliran-aliran yang lebih besar, kemungkinan dengan segera akan dipelajari mengenai pembuatan *outlet* pada bangunan pelimpah sementara di luar selokan atau saluran suatu DAS. Juga hal tersebut merupakan kesempatan untuk menyalurkan aliran dari bangunan pelimpah sementara pada rerumputan dan penutup tanah lain, begitu pun aliran atau saluran yang kembali akan diperlambat melewati periode puncak *run off*.

5. Hasil kerusakan akibat *run off* ditampung pada bangunan pengalih (*diversion structures*) di atas ujung selokan atau areal yang kritis terhadap erosi, kemudian disalurkan pada areal pembuangan yang sesuai. Teras dengan tingkatan yang besar, parit pengalih, atau tanggul pengalih, seluruhnya dapat digunakan untuk maksud tersebut. Hal ini penting karena banyak bangunan pengalih digunakan untuk melindungi saluran-saluran dan areal-areal yang peka terhadap erosi yang dirancang dengan kapasitas yang memadai. Sebaliknya bangunan tersebut akan menjadikan

peralatan penampung *run off* memusatkan aliran pada areal yang peka terhadap erosi dimana besarnya sama dengan aliran-aliran yang menyebabkan kerusakan seperti aslinya. Areal-areal pembuangan yang aman untuk mengalihkan aliran seringkali disiapkan berada dekat dengan saluran-saluran drainase atau membuat saluran *outlet* baru. Selalu dipelajari atau diselidiki kemungkinan untuk mengalihkan aliran pada rerumputan lahan hutan atau areal-areal pelindung yang lain. Bangunan pengalih dipertimbangkan untuk jenis pengendalian permanen atau pengendalian sementara. Jenis pengendalian tersebut efektif digunakan untuk sementara mengalihkan aliran dari areal yang peka erosi sampai vegetasi tumbuh pada areal atau selokan. Bilamana menggunakan cara ini peralatan tersebut akan selalu dipindahkan setelah vegetasi dapat menahan *run off* dengan aman sesuai yang diharapkan. Jika peralatan tersebut tidak dipindahkan pemeliharaan umumnya dilalaikan karena diasumsikan bahwa vegetasi yang sudah tumbuh dapat melindungi areal yang peka erosi. Setelah itu kerusakan hampir pasti terjadi dan memusatkan *run off* lagi pada areal yang ditanami kembali, sehingga mengurangi kesempatan dari vegetasi untuk melindungi masalah-masalah erosi secara permanen.

2. Pengendalian Sedimen (*Sediment Control*)

Bangunan pengendali sedimen adalah sulit digantikan untuk mengendalikan sedimen pada sumbernya. Sudah barang tentu metode pengendalian sedimen yang baik dan ekonomis siap dibuat untuk mengendalikan erosi pada lahan DAS atau saluran-saluran yang peka terhadap erosi. Pada tempat dimana metode ini tidak mungkin dibuat dan tidak *feasible*, endapan sedimen dapat dikendalikan oleh bangunan pengendali yang ditampung pada areal sehingga akan mengurangi kerusakan. Mengembangkan kumpulan sedimen perlu dilakukan untuk mengurangi kecepatan saluran pada tempat dimana partikel-partikel yang lebih berat akan diendapkan. Hal ini dapat diatasi dengan pembuatan bangunan penahan dengan saluran penerjun (*drop inlet*), penyerap runtuh (*porous debris*) atau perangkap sedimen (*sedimen traps*). Banyak bangunan pengendalian sedimen harus dipertimbangkan hanya sebagai pengendalian sementara dan tidak sebagai pengganti untuk pengendalian areal DAS yang memadai. Semua bangunan pengendali untuk pengendalian sedimen umurnya relatif pendek dan membutuhkan pemeliharaan yang ekstensif dan mahal.

3. Pencegahan Banjir (*Flood Prevention*)

Bangunan pengendali untuk mencegah banjir salah satunya dirancang untuk memindahkan kelebihan *run off* yang aman pada laju yang lebih cepat atau untuk menyimpan sementara pada ujung saluran (*discharges*) dan menyalurkannya pada laju yang tidak lebih besar dari pada kapasitas saluran yang aman. Seluruh bangunan pengendali untuk pencegahan banjir direncanakan dan dirancang untuk melindungi kerusakan areal yang spesifik dan tidak pandang bulu dibangun di sepanjang DAS. Evaluasi yang teliti dari keinginan dan tingkat ekonomis perlindungan banjir selalu dibuat dalam merencanakan beberapa bangunan pengendali untuk mencegah banjir. Kerugian akibat banjir yang luas pada beberapa tahap banjir bisa ditempuh dengan wawancara dan perhitungan serta bangunan pengendali dirancang untuk memberikan derajat perlindungan yang diinginkan. Pada lokasi dimana nilai lahan yang tinggi kemungkinan dapat mengalami kerusakan atau adanya bahaya kehilangan tempat tinggal, maka pada lokasi tersebut perlu direncanakan perlindungan pada level yang tinggi. Sasaran jenis perlindungan ini terhadap kerusakan minimal dapat mengatasi atau melindungi lagi selama 100 tahun. Perlindungan kembali dijamin sampai 500 tahun. Kerusakan pada lahan-lahan pertanian atau lahan-lahan lain itu sendiri adalah tidak jelas, sehingga perlu dirancang beberapa perlindungan yang ringan. Banyak perlindungan dipertimbangkan kembali pada frekwensi banjir selama 5 tahun yang memadai untuk lahan-lahan yang dikelola dan pada frekwensi 2 - 3 tahun pada padang rumput dan tanah hutan. Sejak bangunan pengendali untuk mencegah banjir dapat dirancang untuk memberikan tingkat perlindungan yang diinginkan. Penentuan ini dibuat sebelum pemeriksaan secara teknis dan hidrologis dimulai.

3. Pemindahan Banjir (*Flood Removal*)

Kerusakan banjir secara ekstensif disebabkan karena dalam suatu DAS yang kecil saluran drainase yang telah dibuat tidak mampu memindahkan aliran atau saluran tersebut tidak memiliki puncak pemberhentian. Kondisi semacam ini mungkin disebabkan oleh hilangnya kapasitas saluran karena tersumbat dengan sedimen dan longsor atau berkurangnya kecepatan dan kapasitas aliran yang dihasilkan oleh sungai yang berliku-liku secara alam. Perubahan secara tiba-tiba pada kondisi DAS atau penutup vegetasi juga disebabkan karena melemahnya saluran-saluran drainase yang dibuat. Bila topografi dan kondisi tanah sesuai, maka penggunaan bangunan pencegah banjir sangat efisien untuk meningkatkan kapasitas aliran saluran-saluran drainase pada tempat dimana saluran drainase tersebut salah satunya

dapat memindah atau merupakan puncak pemberhentian tanpa terjadi luapan pada tepi sungai. Dalam hal ini dapat dikerjakan dengan memperbesar penampang lintang saluran, meningkatkan tingkatan bila mungkin atau dengan meluruskan saluran. Bilamana meluruskan atau meningkatkan tingkatan saluran-saluran yang ada yang dipilih, maka bangunan pengendali sangat efektif. Peringatan keras harus diperhatikan pada saluran-saluran yang baru tidak meningkatkan hasil kecepatan di atas kecepatan yang aman. Pada beberapa lokasi, adanya biaya perbaikan atau pemeliharaan seperti gedung, jalan raya, jalan kereta api, dll atau elevasi saluran-saluran atas atau bawah yang ada dan terjangkau perbaikan memerlukan penggunaan bendungan atau tanggul, cukup dengan menggali untuk meningkatkan kapasitas saluran.

4. Penampung Banjir (*Flood Storage*)

Pada beberapa lokasi dimana kondisi fisik tidak memungkinkan untuk memindahkan kerusakan puncak aliran dengan memperbaiki saluran drainase. Hal ini diperlukan untuk mengurangi saluran pemberhentian (*discharge*) pada tempat yang rusak oleh penyimpanan sementara. Setelah periode presipitasi yang tinggi dan *run off*, penyimpanan air dapat diberhentikan pada laju yang tidak melebihi kondisi pinggir sungai yang penuh pada saluran-saluran drainase yang rendah. Penggunaan dam untuk memperlambat banjir seperti bangunan pengendali tergantung pada tersedianya tempat bangunan fisik, tanah-tanah yang kedap air dan kondisi geologi serta bahan-bahan bangunan yang sesuai.

Dam-dam yang memperlambat banjir memberikan kesempatan yang baik untuk menyatukan banyak kegunaan. Bila diperlukan untuk pertanian, rumah tangga atau persediaan air industri, hal ini sangat sering kemungkinan untuk meningkatkan kapasitas waduk untuk memberikan keperluan persediaan air. Pada beberapa areal dimana periode presipitasi yang tinggi adalah musiman dan dapat diramalkan dengan teliti dengan ketelitian yang masuk akal, hal ini mungkin untuk membuat banyak kegunaan dari kapasitas yang sama. Selama periode curah hujan rendah isi waduk dipertahankan untuk manfaat atau kegunaan yang memberikan kapasitas pencegahan banjir hanya selama periode presipitasi yang tinggi.

Pengaruh bangunan pengendali untuk pencegahan banjir pada total DAS harus dipelajari dengan teliti. Seluruh bangunan pengendali jenis ini tergantung pada waktu manipulasi mekanis air dalam DAS, ini harus ditentukan bahwa pengurangan puncak banjir pada satu tempat tidak menghasilkan lebih besar dari pada puncak normal pada

tempat lain dalam DAS. Pembuangan aliran banjir lebih cepat pada satu lokasi dengan memperbaiki saluran sering menghasilkan aliran keluar pada daerah hilir sungai dan menyebabkan kerusakan yang luas. Juga laju pelepasan ditentukan untuk bangunan penampung aliran banjir individual sepenuhnya aman untuk melindungi yang diberikan oleh bangunan tersebut, tetapi dapat menambah masalah-masalah yang serius bila dikombinasikan dengan laju pelepasan yang aman dari bangunan pengendali individual pada anak sungai suatu DAS. Bila bangunan penampung air banjir (*flood water*) dibuat berentetan pada sungai kecil yang sama, masalah-masalah khusus akan timbul jika waktu pelepasan aliran pada bangunan hulu sungai tidak dikoordinasikan secara tepat dengan laju pelepasan seluruh bangunan lain hilir sungai. Prosedur mengarahkan aliran banjir atau aliran DAS dibuat untuk mengontrol pengaruh-pengaruh manipulasi aliran pada beberapa tempat sepanjang DAS. Hal ini meliputi perhitungan-perhitungan hidrologi yang sulit dan hanya akan dicoba oleh tenaga yang terampil.

5. Drainase Utama (*Major Drainage*)

Areal lahan yang rata termasuk dalam batas-batas DAS sering memerlukan drainase sebelum areal tersebut digunakan sesuai dengan peruntukannya atau kemampuan yang maksimum. Sistem drainase yang memadai termasuk utama, lateral dan pada saluran drainase bagian integral memberikan *outlet* yang memadai dengan pengendalian tingkatan dan penampang lintang dari saluran-saluran bagian hidrologi pada suatu DAS, semua harus dikoordinasikan untuk mencegah aliran, sehingga suatu jenis pengendalian akan meniadakan pengaruh yang lainnya.

6. Persediaan Air (*Water Supply*)

Kemungkinan terdapat sebuah kebutuhan akan untuk berbagai tujuan dalam atau dekat DAS, irigasi, rumahtangga, industri, air lainnya dapat dikembangkan sebagai bangunan DAS. Banyak persediaan air perencanaan bangunan yang dibuat untuk tujuan bangunan penampung yang terencana dari banjir. Sebagai satu aturan, adalah lebih bermanfaat ganda ke dalam satu bangunan penampung yang besar pada membangun bangunan terpisah yang lebih kecil untuk penggunaan- penggunaan yang terpisah.

7. Pengisian Kembali Air Bumi (*Ground Water Recharge*)

Biasanya sangat sulit menentukan bahwa pengaruh pengisian kembali air bumi dalam sebuah DAS akan terdapat pada persediaan air bumi dalam DAS.

Sejak geologi daerah yang lebih baik dari pada batas-batas permukaan DAS menentukan gerakan air bumi, setiap penambahan pada cadangan air bumi dalam DAS mempunyai sedikit atau tanpa pengaruh pada persediaan air dalam DAS. Bagaimanapun, pada beberapa susunan geologi, dimana eksplorasi data dasar yang telah cukup dibuat adalah mungkin untuk menentukan tingkat yang nyata penambahan air bumi yang dihasilkan dari pengisian kembali air bumi, dimana hal ini kemungkinan atau pengisian kembali air bumi umumnya diperlukan sekali, beberapa jenis bangunan pengendali dapat digunakan.

Pada tanah-tanah dari lapisan tanah bawah yang dapat ditembus air, setiap jenis pengurangan air akan menambah jumlah aliran permukaan yang memasuki waduk air bumi atau aliran sungai ke dalam DAS yang tanggul yang rendah akan sangat efektif, juga, pembangunan batu beton untuk jalannya aliran sungai di atas lahan yang datar akan berhasil.

Pada tanah-tanah atau lapisan tanah bawah yang kedap air, pengisian kembali air bumi yang meluas di bawah lapisan kedap air dapat dimanfaatkan. Aliran permukaan dialihkan ke dalam sumur berdiameter besar ini secara langsung memasuki cadangan air bumi. Pengalihan aliran permukaan seperti itu harus relatif bebas endapan untuk menghindari penutupan pada sumur-sumur.

Salah satu untuk mencegah penutupan sumur oleh endapan air permukaan dicoba di pedalaman dataran tinggi di Texas, USA. Di sana air permukaan aliran banjir dialihkan secara langsung ke dalam sumur-sumur yang ada dipompa untuk menyediakan air irigasi. Hasil studi menunjukkan bahwa sebuah sumur akan menerima pengisian kembali air permukaan kira-kira pada laju yang sama bahwa sumur dapat dipompa lebih aman tanpa kehabisan air yang serius. Praktik selanjutnya untuk mencegah penutupan oleh endapan lumpur adalah penggantian perioda pemompaan dan pengisian kembali air bumi. Didapatkan bahwa dalam satu jam pemompaan selama. tiap-tiap 24 jam pengisian kembali air permukaan akan membersihkan atau memindahkan akumulasi lumpur dan mencegah penutupan.

8. Lokasi Jalan

Pengaruh buatan manusia yang prinsip pada sifat-sifat kebanyakan DAS adalah kontruksi jalan raya, jalan-jalan pertanian, jalan-jalan hutan dan jalan kereta api. Ini semua melibatkan pemindahan tanah yang kokoh dalam bentuk potongan dan pengisian, sering juga dalam bentuk penghalang aliran air yang mengubah sama sekali pola

drainase alami suatu DAS. Biasanya mereka menghasilkan pemusatan aliran permukaan ke dalam jumlah yang besar, yang mana juga sering dibuang pada lokasi yang optimum untuk keamanan jalan raya dan tanpa memandang pengaruh pada lahan di sekitarnya. Selokan-selokan yang dalam seringkali berasal dari *outlet* drainase sisi jalan atau dimana air permukaan berkumpul dalam potongan-potongan jalan dan dialirkan dari tingkatan.

Sayang sekali, sebagian besar jalan raya dan jalan kereta api adalah sudah pada tempat dan penampungannya terutama untuk kepentingan DAS bisa secara ekonomis di luar akal pemecahan satu-satunya biasanya menyediakan saluran-saluran keluar yang aman untuk kumpulan konsentrasi aliran.

Ada kesempatan, bagaimanapun pada bangunan jalan baru dan penampungan sangat mengurangi pengaruh kerusakan pada DAS dan pada waktu yang sama memenuhi kebutuhan-kebutuhan akan kegunaan-kegunaan penting ini. Ini terutama benar sekali dalam lokasi jalan pertanian dan jalan hutan sementara untuk pemungutan sumber-sumber kayu.

Dalam pengembangan sebuah rencana perlindungan pada lahan-lahan pertanian yang miring, sebagian besar langkah-langkah pengendalian yang meliputi penggunaan peralatan pertanian disusun pada atau dekat kountur untuk menghilangkan bahaya terbentuknya pemusatan aliran permukaan yang besar. Teras, *strip cropping*, saluran pengalih dan pengolahan kountur, semua pengembangan pola pertanian dilaksanakan di sekitar lereng yang lebih baik daripada di atas atau di bawah lereng. Jalan-jalan pertanian yang terletak sesuai dengan pola ini tidak hanya akan memberikan jalan masuk yang lebih mudah, menuju ladang-ladang, tetapi juga akan sangat mengurangi bahaya terpusatnya aliran permukaan ke dalam pengumpulan yang merusak. Jalan-jalan pertanian yang terletak pada atau sedekat mungkin dengan kountur akan lebih panjang dari pada jalan yang lurus tetapi pengurangan bahan bakar atau pemakaian dan pembongkaran pada peralatan pertanian akan lebih menutupi kerugian tambahan jarak perjalanan.

Kebanyakan jalan-jalan hutan baru dengan terus-menerus dibangun dan ada sebuah kesempatan untuk menempatkan mereka dimana mereka akan mempunyai pengaruh merusak yang paling sedikit pada DAS. Kebanyakan jalan-jalan hutan adalah sementara untuk menghasilkan kayu, tetapi walaupun jalan hanya sementara dapat menciptakan sebuah masalah yang serius dan abadi. Beberapa azas-azas untuk diikuti dalam penempatan jalan-jalan hutan yaitu :

- a. Perencanaan sistem jalan sebelum pembuatan perencanaan yang lebih dahulu dapat banyak mengurangi daerah gangguan terhadap tanah dan memperendah biaya pembangunan dan pemeliharaan serta pengangkutan.
- b. Pengetahuan mengenai ciri khas batuan dan tanah adalah penting. Ini akan membantu mencegah meresap, alas tanah liat dan lubang batu yang curam dimana gelincir kemungkinan terjadi.
- c. Menjaga tingkatan serendah mungkin tujuh persen umumnya maksimum, melebihi hanya perkecualian di bawah kondisi untuk menghindari galian dan pengisian yang berlebihan.
- d. Memberikan drainase yang memadai jalan-jalan hutan adalah sumber dan pembawa air berlumpur yang mencemari aliran sungai. Urung-urung (*culvert*) paling terbuka, dan lubang-lubang untuk memelihara air permukaan harus diberi jarak pada frekuensi interval dan ditempatkan sehingga air mengalir di atas tanah yang bertanaman dimana lumpur disaring keluar.
- f. Jangan membangun jalan pada atau dekat sungai. Jaga bangku dan punggung bukit sebanyak mungkin. Dalam penerimaan dan pengurangan lainnya, drainase permukaan akan terkumpul pada jalan raya dalam volume yang cukup untuk menyebabkan erosi yang serius.
- g. Bangun dengan pemindahan tanah yang minimum. Galian yang dalam dan pengurukan tanah yang ekstensif tidak diinginkan. Alas jalan harus dijaga sebatas pemakaian yang aman terpenuhi.
- h. Pemeliharaan adalah penting untuk menjaga penampang drainase terbuka, sehingga air akan mengalir. Bahan-bahan pengisi tanah dan kayu log tidak boleh digunakan untuk menyumbat ujung hulu sungai dari urung-urung. Segera setelah penebangan kayu, jalan-jalan sementara harus ditebari benih rumput-rumputan untuk menstabilkan lubang-lubang dan bekas urugan kasar.

9. Pengendalian Air Deras

Sebuah masalah yang telah menyebabkan kerusakan yang luas di beberapa DAS di daerah-daerah gunung yang curam, adalah aliran yang amat deras yang mana mula-mula tinggi di daerah pegunungan. Aliran air yang deras mempunyai satu sifat yang sangat khusus dan sama sekali tidak seperti aliran-aliran perusak dalam anak sungai pada lereng yang sedang. Lereng sebuah saluran air deras sering meneapai 40 - 50 derajat. Aliran air deras menyebabkan erosi yang serius di saluran-saluran pegunungan dan menumpuk batu berat dan muatan-muatan endapan ke dalam lembah-lembah yang menyebabkan aliran berlika-

liku dalam saluran-saluran yang tidak permanen di atas dasar tanah yang subur. Hujan salju yang sangat kuat pada ketinggian bergabung dengan aliran salju yang mencair dengan hebat, membentuk keadaan-keadaan yang berakibat dalam jangka waktu yang singkat, yaitu aliran air yang deras datang dengan tiba-tiba.

Hidrolika aliran air deras sudah merupakan sebuah subyek penelitian terutama sekali di Eropa untuk bertahun-tahun, tetapi tetap banyak dipelajari. Adalah luar biasa sulit untuk mengukur penampang lintang daerah saluran-saluran yang berubah dan muatan-muatan dasar yang kuat mungkin menggunakan alat yang lembut yang kuat yang digunakan untuk mengukur kecepatan dan muatan-muatan endapan bangunan pengendali untuk pengendalian air deras harus berdasarkan banyak sekali, pada pertimbangan dan harus selalu faktor keselamatan yang tinggi adalah mudah dilaksanakan dan memungkinkan.

Dalam pola pengembangan bangunan pengendalian air deras adalah tidak boleh tidak membuat bangunan dimulai pada tempat-tempat yang tinggi. jika tempat-tempat ini tidak terawasi, muatan-muatan dasar yang kuat akan secara serius mengganggu atau setiap bangunan-bangunan yang dibuat di daerah yang lebih rendah. Satu-satunya pengecualian pada atas dasar ini barangkali dalam hal dimana aliran-aliran air yang deras membahayakan desa-desa, jalan-jalan, jalan kereta api, dsb, dan bangunan pengendali darurat dengan segera dibutuhkan. Dalam keadaan yang terbaik, pola pengendalian seperti itu harus dipertimbangkan hanya sebagai pola sementara, sampai tempat-tempat atas distabilkan.

Tersedianya material-material di daerah pegunungan luas sekali atau banyak menentukan pola-pola pengendalian yang dapat dikerjakan. Biasanya batu dan kayu sebagian besar akan mudah tersedia, dengan syarat-syarat pengangkutan membuat beton dan baja buatan sebagian besar tidak berguna. Beberapa tipe bangunan yang telah ditemukan yang efektif dalam pengendalian aliran air deras, termasuk:

1. Periksa dam-dam yang dibuat di saluran air yang deras, dari batu lepas, bangunan batu, kayu atau kerikil dari tempat penyimpanan kayu. Dam-dam ini dipasang dalam rentetan mengakibatkan sebuah saluran yang turun. Semua dam-dam pengendali air deras harus direncanakan untuk mengembangkan potensi penyimpanan endapan yang maksimum pada suatu tempat, karena pada lereng-lereng curam masih hanya sedikit fraksi kapasitas yang diperlukan. Dam-dam yang terbuat dari batuan lepas, mengelilingi dalam rangkaian kawat berat telah digunakan

sangat berhasil di beberapa tempat. Tipe dam ini mempunyai sifat melentur menahan tubrukan muatan-muatan dasar yang berat yang lebih baik dari pada tipe-tipe dam yang keras dan kaku. Juga, ketika kerusakan terjadi mereka dapat dengan mudah diperbaiki.

2. Dimana dam-dam yang tingginya kurang dari enam kaki akan memberikan pengendalian yang cukup, beberapa tipe anyaman ranting dan dahan kayu digunakan. Anyaman dahan dan ranting kayu dibangun dari memancangkan pancangan ke dalam dasar sungai tegak lurus pada aliran dengan pohon hijau atau jalinan cabang-cabang lentur lainnya di antara tiang pancang. Seluruh bangunan biasanya dilakukan pada pinggir sungai dengan kawat. Seringkali kerikil-kerikil tanah atau batu dengan 45 derajat adonan hulu sungai ditempatkan di atas anyaman dahan dan ranting pohon untuk melindungi terhadap tenaga sungai.
3. Dimana tempat-tempat tersedia ini dasar-dasar lembah yang atas, kumpulan paling dasar yang kuat dapat dikerjakan dengan mudah. Ini dibangun dengan mendirikan tanggul mengelilingi daerah-daerah yang relatif datar dari tanah buangan dan mengalihkan aliran air yang deras ke dalam daerah yang dibendung. Dengan penurunan kecepatan, partikel-partikel muatan dasar yang besar diendapkan dalam daerah yang sebelumnya dipilih dari pada dipencar-pencar di atas tanah yang lebih berharga.
4. Bangunan saluran-saluran yang dilapisi dengan permukaan yang tidak mudah tererosi seperti bangunan batu atau beton dapat digunakan mengangkut aliran air yang deras menuruni lereng-lereng curam. Saluran yang berbeton adalah sangat mahal untuk dibangun dan dipelihara. Bagaimana pun, nilai-nilai hilir dapat membenarkan instansi mereka. Dimana metode pengendalian ini dipakai, bagian longsor yang paling penting dari saluran harus dilapisi, kalau tidak muatan-muatan dasar yang berat akan merintangi atau menghancurkan bagian-bagian hilir yang dilapisi.

Bangunan-bangunan pengendali untuk aliran air yang deras harus direncanakan sebagai satu bagian dari sebuah program untuk memperbaiki yang membutuhkan pertimbangan dari kondisi pertumbuhan pada DAS. Dalam banyak contoh dalam aliran yang deras diganggu oleh penggembalaan yang berlebihan, oleh hewan-hewan, rumah tangga dan alat keahlian teknik dalam saluran air yang deras adalah bukan pengganti untuk pola-pola yang harus diambil untuk memperbaiki keadaan tanaman-tanaman. Pengawasan penggembalaan, penyemaian, penghutanan kembali dan pengawasan kebakaran barangkali juga perlu.

E. Pertimbangan Administrasi dan Kelembagaan

Bangunan dari alat-alat keahlian teknik untuk perbaikan daerah aliran sungai adalah dalam pengaruh, sebuah penanam modal, dan seperti semua penanaman-penanaman yang serupa melibatkan sebuah komitmen untuk administrasi dan pemeliharaan fasilitas. Semua alat-alat tersebut sekali dibangun membutuhkan pemeliharaan dan seseorang harus melakukannya. Perlu sekali bahwa rencana-rencana pemeliharaan dibuat pada saat keputusan dibuat untuk melakukan pembangunan. Semua alat-alat ini, bila mereka jatuh ke dalam keruntuhan dapat mengganggu masalah-masalah air. Teras yang rusak menjadi sistem selokan, melalaikan saluran drainase dapat mengisi dengan endapan-endapan dan menciptakan banjir atau dapat menggosok pada kedalaman yang paling dalam, merendahkan skema air dan menciptakan kondisi-kondisi masa kekeringan. Dam-dam penampung kecuali dipelihara akan rusak, melepaskan air banjir melakukan kerusakan yang lebih parah. Kadang-kadang pemilik-pemilik tanah secara individu dan para penanam akan memberikan kerja pemeliharaan yang perlu sekali. Kerjasama para pemakai tanah dalam pembangunan pengendalian air adalah sangat perlu juga jika mereka diharapkan menunjukkan setiap pelayanan pemeliharaan atau dapat menahan diri dari menghancurkan mereka sebagai halangan pada penggunaan tanah oleh mereka. Harus ada pengertian penuh akan tujuan-tujuan dari bangunan-bangunan dan penghargaan nilai yang mereka pegang pada para pemilik dan pemakai lokal tanah.

Pemasangan-pemasangan bangunan ini kadang-kadang menimbulkan masalah-masalah hak milik tanah secara individu termasuk hak-hak menggunakan tanah dan air. Penyimpanan air banjir barangkali melibatkan pertanyaan mengenai hak air yang harus diselesaikan. Dengan cara yang sama, bangunan sistem pembagian air dapat melibatkan hak guna tanah. Di beberapa tempat di dunia dimana tanah individu yang dimiliki adalah kecil, bangunan sistem teras yang efisien barangkali tidak mungkin kecuali ada penggabungan dari tanah yang dimiliki dan sebuah penugasan kembali dari hak tanah dari sistem teras baru.

Dalam perencanaan pengembangan sebuah daerah aliran sungai (DAS) guna memberikan tingkat perlindungan atau pengembangan air yang tinggi, maka diperlukan peralatan teknik yang berupa bangunan-bangunan pengendali. Bangunan pengendali ini keberadaannya bukan sebagai pengganti pengendalian vegetatif, namun sebagai pendukung langkah pengendalian vegetatif agar diperoleh hasil yang lebih mantap

dan dipertanggungjawabkan. Pengendali ada dua macam, yaitu bangunan pengendali dan bangunan pengendali untuk perlindungan jenis bangunan pengendali ini adalah dalam pengendaliannya.

Bangunan pengendali untuk perlakuan lahan ukurannya relatif kecil, berfungsi untuk mengendalikan erosi dan meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah. Dampak atau hasil pengendaliannya berada di tempat (*on site*). Sedang bangunan pengendali untuk perlindungan DAS ukurannya relatif besar, berfungsi untuk memperbaiki masalah-masalah air dalam DAS yaitu masalah erosi dan sedimentasi, mencegah banjir, drainase utama, persediaan air dan pengisian kembali air bumi.

Bentuk pengendalian untuk perlakuan lahan meliputi : pembuatan teras, bangunan pengalih, bangunan anak sungai, bangunan penerjun, penyumbatan selokan, kolam atau tangki dan drainase lahan. Sedang bentuk pengendalian untuk perlindungan DAS meliputi : pengendalian sedimen, pencegahan banjir, drainase utama, persediaan air dan pengisian kembali air bumi, juga termasuk selokan besar, bangunan penahan banjir, sedimen dan longsoran (*debris basin*), saluran banjir, perbaikan saluran, cadangan persediaan air dan bangunan pengatur air.

Pembuatan seluruh bangunan pengendali tersebut harus berdasarkan dan memerlukan data dasar mengenai curah hujan, aliran permukaan dan *stream flow* pada daerah dimana akan dibangun peralatan tersebut. Di samping hal tersebut dipertimbangkan juga mengenai penempatan jalan dan pengendalian aliran air deras pada suatu DAS. Semua bentuk pengendalian tersebut akan diatur dan dipertimbangkan melalui administrasi dan kelembagaan tersendiri.

Pendidikan Perbaikan Daerah Aliran Sungai

A. Permasalahan Pokok Pendidikan

Pengelolaan DAS berarti pengorganisasian secara tepat dari penggunaan sumber-sumber alam dengan asumsi bahwa sumber-sumber tersebut digunakan secara bijaksana untuk pemanfaatan secara tetap oleh masyarakat.

Penyediaan sumber daya alam merupakan kebutuhan yang mendasar bagi manusia terhadap lingkungannya, tetapi manusia sering ikut serta mengeksploitir, sehingga secara kompleks saling pengaruh mempengaruhi, sehubungan dengan keberadaan mereka dari berbagai faktor lingkungan (iklim, tanah, air, vegetasi dan fauna), sehingga menjadi penyebab terjadinya perubahan yang merugikan dirinya sendiri. Konservasi terhadap sumber-sumber tersebut dimaksudkan untuk menghindari berbagai perubahan yang dianggap dapat menurunkan kualitas sumber tersebut bagi kegiatan manusia. Hal ini ditempuh dengan cara mempertahankan keseimbangan dalam lingkungan, sehingga sumber tersebut dapat digunakan secara tetap dan berkelanjutan.

Seluruh kegiatan manusia mempunyai dampak pada lingkungan dan menyebabkan perubahan kondisi sedemikian rupa, sehingga untuk mempertahankan lingkungan, terjadi saling ketergantungan antar berbagai tipe kegiatan. Untuk itu diperlukan pemikiran di bidang konservasi dan pengelolaan DAS dimana antar keduanya saling berhubungan, yang pertama saling berkaitan dengan kegiatan manusia sedangkan yang kedua berkaitan dengan kondisi lingkungannya.

Bertitik tolak dari hal yang berhubungan dengan pendidikan, dapat kita peroleh gambaran hasil dari beberapa pertimbangan :

1. Keperluan pendidikan dalam bidang pengelolaan DAS sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan alam yang berubah dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Oleh karena itu, perlu penyesuaian program pendidikan dengan tempat pelaksanaan dimana kegiatan dilaksanakan.
2. Pendidikan diperlukan untuk mempelajari alam secara luas meliputi berbagai kepentingan, seperti :
 - Ilmu dan teknik, berhubungan dengan studi lingkungan alam dan penggunaannya serta berhubungan dengan berbagai mata pelajaran seperti klimatologi, ilmu tanah, biologi, hidrologi, agronomi, ilmu kehutanan dan sebagainya.
 - Moral, hal ini bermula dari pertanyaan untuk menentukan bagaimana seseorang akan bersikap terhadap alam lingkungannya seperti dalam lingkungan sosiologisnya.
 - Ekonomi, muncul karena penggunaan sumber daya alam secara bijaksana merupakan persyaratan untuk kemakmuran jangka panjang.
 - Estetik dan budaya bermula dari pelayanan alam dalam melatari kehidupan manusia, dimana keserasian dari kerangka ini secara nyata dipengaruhi oleh corak penggunaan sumber-sumber alam yang dijumpai.

Pemikiran yang cemerlang merupakan hal penting bagi pengajar, sebab dari merekalah motivasi timbul yang memungkinkan hal tersebut untuk dijadikan dasar bagi program pendidikan.

Inilah kira-kira petunjuk dari pelatihan. Hal yang perlu dipertimbangkan adalah pengaruh modal dan sosial. Pendidikan tidak seharusnya hanya berhubungan dengan pemberian pengetahuan (fakta-fakta ilmu dasar atau rekomendasi detail secara teknis) tetapi yang utama adalah untuk menghasilkan sebuah kerangka pemikiran dan petunjuk untuk melakukan suatu jenis tindakan secara pasti.

Aliran air akan membentuk suatu unit DAS. Akibatnya hubungan unsur-unsur lingkungan alam penyusun DAS akan mempengaruhi aliran tersebut. Hubungan ini mempunyai beberapa karakteristik penting untuk usaha-usaha pendidikan :

- Pertama, DAS dapat mencakup daerah yang luas, walaupun secara geografi berbeda wilayahnya. Tetapi yang terpenting dalam hubungan ini pembatasan wilayah dibedakan oleh fisiografi, tanah dan secara ekstrim dibedakan oleh iklim.

- Terjadi keterikatan yang pelik dimana dalam DAS secara praktis daerah hilir akan tergantung daerah hulu. Keadaan ini dapat mengakibatkan timbulnya keberanian untuk mengusahakan daerah tersebut, sebagai contoh pertanian di daratan, banjir yang disebabkan ketidaktepatan di daerah pegunungan.

B. Sasaran Pendidikan Pengelolaan DAS

Program pendidikan ditujukan kepada:

1. Peningkatan kesadaran masyarakat secara umum terhadap masalah pengelolaan DAS terutama sekali yang berhubungan dengan daerah hulu dan hilir.
2. Pendidikan dan pelatihan terutama bagi mereka yang akan menangani penyelesaian masalah tersebut, yaitu:
 - a. Ahli-ahli teknis
 - b. Masyarakat lokal yang tertarik untuk mengelola DAS.

1. Pendidikan Umum Masyarakat

Pendidikan umum di bidang pengelolaan DAS seharusnya merupakan bagian dari studi konservasi sumber daya alam. Ide tersebut sebaiknya dimasukkan dalam kurikulum sekolah di setiap tingkat. Terutama sekali dalam hal terjadinya penyalahgunaan lahan dan sumber air, sehingga dapat diusahakan pembuatan programnya dari tingkat yang paling bawah guna memberi petunjuk penyebab dan pencegahan masalah erosi banjir.

Peningkatan pengertian tentang proses-proses alam bagi penggunaan lahan dan air serta tindakan konservasi paling baik dimulai pada tingkat sekolah dasar. Selanjutnya untuk tingkat lanjutan, perhatian ditingkatkan pada pengetahuan di tingkat dasar untuk konservasi tanah dan air.

Petunjuk dalam pengelolaan DAS akan menekankan hubungan dimana keberadaan di antara faktor-faktor lingkungan yang merupakan karakteristik lingkungan alam seperti iklim, tanah dan vegetasi termasuk juga pengaruh aktivitas manusia serta perbedaan adat pendiriannya.

Pendidikan sekolah yang dialami kaum muda baiknya juga dijalani oleh orang dewasa, dimana aktivitasnya berpengaruh terhadap tingkah laku DAS. Merekalah yang selayaknya memberi sumbangan, membayar pajak langsung atau investasi langsung atau investasi lain untuk perbaikan DAS. Segala cara untuk publikasi media dan iklan harus digunakan untuk keperluan ini; surat kabar, radio, tv, poster,

pamflet dan sebagainya. Obyek utama dari usaha propaganda ini ialah meningkatkan kesadaran masyarakat akan masalah tersebut dan memberi saran secara umum bagaimana memecahkannya.

Contoh dari kejadian yang dapat diamati secara lokal biasanya lebih mengena dibanding dengan tempat yang luas, dimana kondisinya sering tidak sama dengan kondisi lahan secara lokal. Kejadian yang datang dan segera berlalu, misalnya banjir dapat digunakan untuk menerangkan kumpulan dari berbagai tahap bagaimana kejadian tersebut terjadi akibat kesalahan pengelolaan DAS.

Kegiatan wisata yang dilakukan oleh sekelompok orang dapat dimanfaatkan sepenuhnya untuk meningkatkan kesadaran terhadap masalah bagi penduduk masalah penyalahgunaan DAS merupakan masalah bagi penduduk setempat.

Demonstrasi DAS dalam skala kecil dapat digunakan untuk menggambarkan kemungkinan perbaikan yang akan dilakukan. Hal ini merupakan manfaat tambahan yang dapat diambil dari kegiatan wisata.

2. Pendidikan Teknis

Pengelolaan DAS meliputi dua tipe teknik yang berbeda, dinamakan dengan :

- Teknik biologis yaitu pertanian dan kehutanan
- Teknik fisika dan matematik, contohnya teknik sipil dan hidraulik.

Di waktu yang lalu banyak negara-negara yang kesulitan karena tidak adanya koordinasi dan pengetahuan yang bermutu di antara para ahli dalam mengalami kurangnya bidang ini.

Menurut sejarah setiap tempat mempunyai kecenderungan untuk memikirkan bangunan dan kontrol air, dimana bagi sarjana teknik sipil hal tersebut merupakan masalah yang perlu dipecahkan. Secara mendasar mereka hanya mempercayakan struktur kerja tersebut dari dasar sungai tanpa memperhatikan kondisi DAS, sehingga biaya yang diperlukan tidak terlalu besar.

Metode tersebut terbukti tidak memuaskan sebab pembangunan dan sungai harus direncanakan dan dikoordinasikan dengan pengukuran yang melibatkan kerja seluruh DAS.

Masalah tersebut menimbulkan pemikiran bahwa secara praktis pelaksanaan pengelolaan DAS harus terkoordinir, hal ini merupakan satu masalah bagi pendidik untuk menyiapkan teknik menuju ke arah tersebut.

3. Pelatihan Teknis di Lapangan

Hampir seluruh negara mempunyai ahli teknik jauh di bawah kebutuhan untuk mengadakan program perbaikan DAS, sehingga untuk keperluan tersebut penambahan jumlah ahli kehutanan, ahli agronomi, ahli hidrologi, dan sarjana teknik sipil serta penyediaan jumlah tenaga kerja yang cukup merupakan kebutuhan yang utama. Selain itu penambahan jumlah ahli ekonomi, statistik, ilmu tanah, dll akan sangat diperlukan untuk staf konsultan dan kegiatan penelitian.

Semua ahli teknik harus menjalani beberapa pelatihan khusus di bidang pengelolaan DAS. Hal ini dimungkinkan dengan mengusahakan sebuah program pelatihan oleh pemerintah daerah yang bertanggung jawab pada hal tersebut. Jalan utama yang harus ditanamkan untuk menyelesaikan masalah adalah perlunya kerjasama yang erat di antara para ahli dari berbagai bidang yang terlibat dalam pengelolaan DAS sebab terdapat hubungan timbal balik berbagai faktor teknis dalam tingkah laku DAS.

Ada beberapa negara dimana untuk mengembangkan organisasi pengelolaan DAS memanfaatkan tenaga-tenaga asing sebagai instruktur dalam program pelatihan teknik. Bagian penting dari program pelatihan teknis harus mencakup banyak usaha untuk memberi pengalaman kerja secara nyata. Pengetahuan yang hanya berasal dari buku jauh mencukupi bagi seseorang agar mampu melakukan semua kegiatan yang diharapkan. Peserta pelatihan diharapkan cakap dalam pengetahuan serta ahli dalam setiap ketrampilan yang digelutinya termasuk penggunaan peralatan tangan. Program pelatihan sebaiknya dilaksanakan dengan menggabungkan kegiatan kelas dengan masalah yang ditemui di lapangan secara nyata.

4. Pelatihan Khusus untuk Peneliti

Jumlah peneliti relatif masih sedikit, pelatihan khusus bagi mereka sebaiknya ditangani oleh universitas dan sekolah teknik lanjutan. Seharusnya para penelitalah yang melihat masalah DAS dengan cara menunjukkan hasil penelitiannya, sehingga kemungkinan waktu terbuang oleh para ahli teknik di lapangan dapat dihindarkan. Pelatihan khusus dapat merupakan kerja lanjutan dari bidang spesialisasi peserta, ditambah dengan penguasaan bahasa asing, matematik dan statistika serta penggunaan metode penelitian yang tepat. Biasanya cenderung dipertimbangkan untuk mengirim peneliti keluar negeri sering tidak menawarkan tingkat lanjutan atau pelatihan khusus bagi sarjana dalam bidang yang berkaitan dengan pengelolaan DAS.

5. Pendidikan untuk Masyarakat Lokal

Tanpa terkecuali masalah pengelolaan DAS timbul disebabkan oleh kegiatan penggunaan lahan dari penduduk setempat. Usaha-usaha peladangan, padang gembalaan ternak, pembakaran hutan, penebangan hutan, semuanya berperan dalam mengubah tingkah laku DAS dan sungai-sungainya. Jadi usaha-usaha memperbaiki kondisi-kondisi DAS membutuhkan simpatik dan kerjasama aktif dari pemakai lahan di tempat tersebut. Dalam jangka panjang alat yang paling efektif menyelesaikannya adalah pendidikan.

Pemerintah daerah biasanya menjadi sponsor dalam Proyek perbaikan DAS dan bertanggung jawab untuk mengesahkan pekerjaan yang besar. Akan tetapi, penduduk setempat juga harus diikuti hal mengubah penggunaan lahan yang mereka gunakan dan jaga. Jika penanaman kembali padang rumput dan penghutanan kembali kawasan hutan tidak ditangani oleh pemerintah serta tanpa pengertian dan kerjasama dari penduduk setempat maka perbaikan tersebut akan mengalami kegagalan jika salah satu diabaikan.

Kerjasama setempat yang efektif dapat diperoleh melalui pendidikan, hal ini penting tidak hanya dalam hubungan dengan perubahan penggunaan lahan tetapi juga dalam pembuatan saluran-saluran. Kadang-kadang penduduk setempat ikut campur dalam pembangunan dan yang mereka lihat sebagai ancaman bagi kehidupan sehari-hari mereka.

Pendidikan untuk masyarakat lokal seharusnya didapat oleh semua orang yang pekerjaannya, berhubungan dengan fungsi DAS. Hal ini sebaiknya ditujukan kepada para petani, rimbawan dan peternak serta industrialis dan pekerja yang menggunakan suplai air dari sungai. Singkatnya hal tersebut ditujukan pada orang-orang yang tergantung pada lahan DAS dan air yang mengalir di daerah tersebut. Sebab sudah merupakan perhatian umum dua kelompok ini sering berbeda, usaha-usaha yang berhubungan dengan pendidikan akan meliputi kegiatan-kegiatan yang direncanakan untuk meningkatkan pengetahuan yang bermutu dari dua kelompok tersebut dalam penggunaan DAS.

Pendidikan untuk masyarakat lokal dalam DAS berbeda dengan pendidikan masyarakat secara umum, dalam hal ini perlu kekhususan dalam hubungannya dengan kegiatan sehari-hari bagi DAS.

Masalah khusus seperti perubahan dalam aktivitas penggunaan lahan yang diperlukan dan mempunyai pengaruh terhadap kesejahteraan ekonomi karena penyesuaian terhadap perubahan tersebut.

Latihan diperlukan untuk perbaikan DAS yang tergantung pada usaha-usaha kehidupan yang dilakukan orang di masyarakat dalam penggunaan DAS. Padang gembalaan sedikit kemungkinannya berubah sistemnya dalam pengelolaannya sebagai padang rumput. Hal ini merupakan sebuah latihan yang bagus untuk perbaikan DAS apalagi jika dapat diketahui bahwa perubahan tersebut akan mengurangi pendapatan keluarga.

6. Jenis-jenis Kegiatan Pendidikan

Dua hal yang erat hubungannya dengan aktivitas yang biasanya diperlukan dalam DAS. *Pertama* adalah sekumpulan kegiatan yang dirancang bagi kelompok yang berasal dari bagian yang tertinggal pengetahuannya. Termasuk usaha-usaha untuk mendemonstrasikan bahwa masyarakat lokal mempunyai sederet masalah serta mendemonstrasikan bagaimana jalan pemecahannya agar dapat bermanfaat. Pendidikan bertujuan untuk menimbulkan minat untuk merubah sikap dengan merangsang proses-proses pembuatan keputusan.

Langkah *pertama* dalam pembuatan keputusan adalah menumbuhkan kesadaran dalam menghadapi masalah yang harus diikuti keinginan untuk mengumpulkan informasi mengenai hal-hal yang sedang dipelajari. Insentif untuk belajar untuk membangun kepercayaan dimana usaha-usaha yang dikeluarkan untuk belajar akan lebih besar dibanding untuk mengimbangi perubahan untuk mendapatkan keuntungan dari penerapan pengetahuan baru.

Tipe *kedua* adalah pendidikan yang mementingkan teknik yang mensuplai informasi bagi kemungkinan penyelesaian masalah. Termasuk informasi teknik dalam pengelolaan rumput, metode pengendalian kebakaran hutan, teknik pengendalian erosi dsb. Yang harus dicatat adalah bahwa tipe dari pendidikan menggunakan metode lebih dari satu dan kenyataannya meliputi pelajaran dengan berbagai alternatif pemecahan. Hal ini jarang menemukan satu penyelesaian yang terbaik bagi semua orang. Bagi seorang peladang satu tipe pembuatan teras secara nyata mungkin lebih merupakan penyelesaian yang praktis untuk masalah erosi, tetapi bagi peladang yang lain dengan masalah yang berbeda beberapa tipe teras akan merupakan penyelesaian yang praktis.

C. Pendidikan Berarti Meningkatkan Minat dan Pengetahuan

Penyadaran penduduk setempat dalam mengatasi masalah DAS ada beberapa usaha pendidikan yang sederhana yang mudah dimengerti dapat dilakukan melalui pertemuan, selebaran, poster dan radio.

Penjelasan harus diambil dari pengalaman setempat dan bukan dari tempat-tempat yang jauh, jika mereka memiliki pengetahuan nyata. Yang akan digunakan pun merupakan demonstrasi-demonstrasi praktik untuk menggambarkan kemungkinan hasil-hasil dari upaya-upaya menghadapi beberapa masalah. Demonstrasi-demonstrasi semacam itu dapat memakai beberapa model. Mengadakan darma-wisata bagi golongan pemuka masyarakat untuk melihat-lihat (pekerjaan yang sedang berjalan) dari dekat, kemajuan daerah-daerah lain yang mungkin sangat membantu. Gambaran yang diberikan pun di atas tempat yang sangat mudah dimengerti. Percobaan pada lahan petani telah berhasil dimanfaatkan di beberapa bagian di daerah maupun negara lain.

Pemasangan suatu rencana atau praktek di atas tempat yang biasa ditinggalkan oleh beberapa penduduknya, seperti di pinggir jalan raya seringkali efektif. Bagaimanapun hal ini penting yaitu demonstrasi seperti yang telah tersusun dengan dukungan aktif dari seseorang yang lahannya digunakan demonstrasi percobaan. Kepercayaan dalam menilai sesuatu yang dicobakan sangat penting. Apabila praktek atau pemikiran yang dicobakan sangat asing bagi komunitas setempat, dia akan menjadi ujung tombak yang baik dalam menghadapi kritikan atau ejekan yang pertama kali. Sambutannya terhadap perencanaan atau praktek merupakan bagian yang mendasar dari kegiatan percobaan.

Percobaan khusus semacam mengangkat masalah "DAS percontohan" pada areal Sub-DAS dari sebuah sungai yang lebih besar. Di sini akan dikombinasikan seluruh bagian pemecahan masalah-masalah DAS dari areal drainase yang besar. Masalah utama seperti pada skema percontohan menggambarkan bagaimana rangkaian kegiatan pengendalian pengembalaan; penghutanan kembali; memperbesar penyimpanan air aliran dan sebagainya; bekerja bersama-sama untuk mencapai suatu perubahan tingkah laku aliran sungai dan bagaimana faktor-faktor yang sama mempengaruhi pendapatan dan kehidupan masyarakat setempat.

Hal yang sering terjadi adalah rencana percontohan diangkat dengan harapan sedapat mungkin memperoleh subsidi dari

pemerintah, tetapi tidak kalah pentingnya bahwa proyek mendapat dukungan penuh dari masyarakat di sekitar rencana percontohan, dan lagi pula untuk menafsirkan hasil-hasil yang berbeda dengan kelompok-kelompok yang lain pada areal DAS yang menyerupai, perlu memiliki sistem untuk pengumpulan dan analisis data atas hasil-hasilnya. Jumlah yang pasti dari data hidrologi merupakan hal yang penting untuk mengukur perubahan-perubahan tingkah laku sungai, yaitu aliran dan kualitas air. Selain itu, merupakan hal yang berharga untuk memiliki beberapa data mengenai dampak dari pekerjaan pengembangan DAS atas pendapatan pengguna lahan di areal tersebut. Masyarakat perlu tahu pembuatan teras mengurangi atau meningkatkan hasil bagi petani. Mereka juga ingin tahu, apalagi pengurangan jumlah ternak gembalaan menyebabkan pendapatan penggembala lebih rendah dan akan menimbulkan keuntungan lokal apa dari perawatan areal hutan yang lebih baik tersebut.

Salah satu rintangan akan berdatangan pada beberapa program pendidikan bagi penduduk setempat, yaitu kebiasaan untuk tidak percaya terhadap orang-orang asing, tenaga teknis yang terbatas dan sangat terbatasnya tenaga ahli dari pemerintah. Keadaan ini seringkali diidentifikasi yang agak jauh berbeda antara kepentingan masyarakat dengan kepentingan penduduk setempat. Rasa tidak percaya dari penduduk setempat akan berubah menjadi mengerti apabila petunjuk-petunjuk dari teknis sesuai dengan kondisi-kondisi setempat serta memperhatikan keinginan-keinginan penduduk di tempat itu. Alasan ini penting, karena teknis lapangan dalam memimpin demonstrasi pendidikan menjadikan dia sendiri sebagai bagian dari komunitas, berupaya khusus untuk mengerti pola kehidupan masyarakat lokal, dan menjalin hubungan dengan para pengguna lahan serta mengizinkan diskusi bebas tentang masalah-masalah mereka. Teknis akan membuat upaya-upaya khusus untuk memimpin dia sendiri sebagai guru untuk merangsang perseorangan/penduduk setempat menganalisa masalah-masalah penggunaan lahan mereka, mempertimbangkan alternatif kegiatan yang mungkin bagi mereka dan membuat mereka memiliki keputusan. Dia harus tahan terhadap godaan yang berupa pemberian order. Sejumlah inisiatif kepastian harus diambil dalam memulai proyek demonstrasi, tetapi sesuai dengan cara kerjanya. Pengajaran teknis harus lebih dari pada pembuatan keputusan terhadap penduduk setempat, sehingga ketika teknis pergi demonstrasi akan terus berjalan dan tidak terhenti serta mati.

Banyaknya pelajaran pada proses pengajaran bagi penduduk desa menunjukkan bahwa mereka paling sering mencari petunjuk dari orang yang mereka sukai atau pemimpin masyarakat yang mereka akui. Penduduk setempat juga mencari petunjuk apakah mereka harus mendukung usulan rencana pengembangan DAS, yang pada gilirannya kehidupan masyarakat di areal percontohan/ demonstrasi DAS mencari pengalaman dalam menjawab masalah-masalah yang mereka miliki.

Pertanyaan mendasar “Apakah ini akan dikerjakan untuk saya dan keluarga saya?”, akan terjawab oleh pertanyaan kehidupan masyarakat di suatu DAS demonstrasi, apakah demonstrasi dikerjakan, untuk mereka. Apabila penduduk di areal demonstrasi berkata hanya “Ini merupakan beberapa macam proyek pemerintah untuk keuntungan penduduk muara sungai”, tanggapan akan berbeda jika penduduk berkata “Proyek ini siap menjadi milik kita, kita akan meningkatkan taraf hidup kita”.

D. Pendidikan Berarti Meningkatkan Pengetahuan Teknis

Masalah yang utama tidak cukup hanya dengan mengajarkan satu macam teknik saja, sebagai contoh: metode pengendalian parit; sistem pembuatan teras maupun teknik penanaman pohon saja. Dalam hal ini banyak sekali yang hanya mempelajari satu macam teknik saja. Selain itu teknik-teknik baru yang kokoh biasanya berangkat dari cara-cara yang sudah biasa digunakan. Dan cara-cara yang biasa tersebut, dahulunya juga tidak secara mudah diserap oleh penduduk setempat. Seringkali penduduk setempat tidak memiliki latar belakang ilmu yang mendasarinya dan selanjutnya pendidikan umum yang mereka miliki harus dipertajam dengan beberapa praktek. Pada masyarakat yang sebagian besar penduduknya buta huruf, yang paling diperlukan adalah pengetahuan yang dapat menyiapkan anak-anaknya ke sekolah, dan selanjutnya generasi yang akan datang memiliki dasar pemikiran dan dapat membuat keputusan-keputusan teknik yang lebih baik daripada yang ada sekarang.

Pada saat penduduk setempat memungkinkan untuk melakukan pendidikan yang efektif, dan dimanfaatkannya dalam perbaikan DAS. Pada saat itu kemauan untuk memperbaiki telah muncul, dan dalam penggunaannya dapat diambil dari seluruh variasi pendidikan diterimanya. Aktivitas kelompok yang diorganisasikan menjanjikan hasil yang lebih besar dan lebih cepat tersebar, jika jumlah tenaga pengajarnya sedikit. Program jangka panjang sering kali paling sesuai apabila digabungkan dengan program pendidikan yang telah ada,

misalnya dimasukkan dalam kurikulum Sekolah Tinggi Teknik. Bagi orang-orang dewasa seringkali sesuai dengan pembentukan kelas khusus atau kelompok belajar. Dalam beberapa waktu kelompok ini dapat menggunakan fasilitas yang ada, seperti misalnya pemakaian ruang sekolah di malam hari. Selain mengadakan pertemuan kelompok di lapangan dan belajar sambil kerja, juga menampilkan teknik-teknik baru di bawah bimbingan guru.

Salah satu upaya pendidikan yang dibutuhkan adalah menginginkan metode pelatihan oleh masyarakat yang dapat bekerjasama atas masalah-masalah yang dihadapinya. Karena dapat memberikan pengaruh yang lebih baik daripada perseorangan, tetapi tidak seorangpun dapat memecahkan masalah tersebut dengan cara sendirian.

Pada keadaan khusus dimana kelompok-kelompok dominan tidak lebih besar dari keluarga, dan kelompok kesukuan bukan merupakan suatu bantuan pada upaya bersama, maka program pendidikan dapat dijalankan dalam waktu yang cukup lama sesuai dengan yang telah ditetapkan, yaitu untuk mengembangkan kapemimpinan dalam formasi dan manajemen bersama.

Pada seluruh pokok masalah pendidikan, yang diinginkan terutama sekali adalah bagaimana alat-alat ini dapat dibangun dan dikelola berdasarkan kepentingan umum.

Pada beberapa bagian di dunia menginginkan teknik-teknik manajemen DAS bagi tempat itu sendiri dalam hubungannya dengan aspek-aspek alami tempat tersebut. Pada beberapa negara yang sedang berkembang "Pemerintah" memiliki arti pusat pemerintahan yang sangat jauh dari mereka dan tidak sepenuhnya menyerahkan keputusan masalah-masalah alam pada pemerintah daerah setempat. Di Eropa Barat, Amerika Utara dan daerah sekitarnya mengembangkembangkan alat-alat pemerintah setempat yang berhubungan dengan masalah sumberdaya manajemen DAS. Yang paling sering adalah adanya lembaga khusus, seperti Konservasi Tanah daerah di Amerika dan Consorzio di Italy.

Di negara-negara yang sedang berkembang, para ahli sosiologi dan pendidikan, selama beberapa tahun telah membicarakan masalah-masalah besar, terutama tentang perkembangan masyarakat. Telah dihubungkan pula dengan definisi UNESCO, menyinggung prosedur yang dilakukan oleh suatu kelompok negara yang tidak biasa, serta upaya-upaya peningkatan ekonomi, sosial dan budaya.

Para ahli terutama sekali menekankan atas partisipasi aktif dari ketidakbiasaan dalam mengembangkan DAS. Mereka merasa secara bebas berperan nyata, pada setiap fase program pendidikan yang relevan, perkembangan masyarakat yang dimilikinya, nilai pendidikan dasar yang dicapai secara obyektif, ketidakbiasaan belajar mengenai arti solidaritas dalam memperoleh pengetahuan kewarganegaraan yang benar.

Dengan demikian nyatalah bahwa latar belakang masyarakat ini disesuaikan dengan pekerjaan manajemen DAS. Konsekuensinya suatu negara selalu memiliki lembaga penelitian untuk mengetahui perkembangan masyarakatnya. Setelah lembaga ini siap, selanjutnya para teknisi harus mencoba membawa proyek-proyek DAS mereka keluar. Pengelolaan DAS di beberapa areal mungkin cukup untuk mengangkat motivasi organisasinya.

Kegiatan bersama untuk pengembangan masyarakat dianjurkan merubah keperluan termasuk :

- Partisipasi efektif yang meliputi beberapa kelompok keberadaannya di antara kelompok, kemampuan memimpin untuk berinspirasi dan menjalin hubungan secara langsung antar mereka sendiri, organisasi atau masyarakat. Pengalaman telah menunjukkan bahwa yang diorganisasikan dapat memberikan rangsangan yang lebih besar terhadap inisiatif perseorangan.

Peranan dari pendidikan mungkin dapat dibandingkan dengan katalisator. Kegiatan kolektif itu sendiri sebenarnya telah memiliki nilai pendidikan.

Untuk maksud-maksud tersebut, kerja pendidik harus ditunjang oleh keperluan administratif (secara khusus mendapatkan kemudahan hukum yang dapat membantu perkembangan teknologi mereka, bantuan pendapatan atau pembebasan pajak dll). Selain itu, untuk meningkatkan daya serap masyarakat terhadap ilmu yang diberikan sesuai dengan standart yang dianjurkan oleh pengelola, bujukan mengenai pendapatan yang pasti mungkin dapat diberikan, seperti : bonus subsidi maupun pinjaman. Hal semacam ini tidak termasuk pendidikan bagi mereka, tetapi seringkali sangat membantu terhadap lancarnya proses pendidikan.

Dalam beberapa kasus, dimana terdapat suatu konflik antara umum dengan kepentingan perorangan yang bersifat pribadi, maka perlu diberikan bujukan-bujukan. Bujukan tersebut dimaksudkan untuk mengesahkan kompensasi yang mengorbankan kepentingan pribadi.

E. Perencanaan Program Pendidikan dalam Manajemen DAS

Peraturan menyebutkan bahwa program-program yang akan diberikan harus disesuaikan dengan *audience* yang dimaksud. Peraturan ini kelihatan jelas tetapi masalah ini seringkali dilupakan.

Pada sebagian negara berkembang mungkin terjadi bahwa pekerjaan pendidikan dipercayakan pada tenaga ahli luar negeri atau yang setara dengan tenaga ahli luar negeri yang bertendensi untuk mengaplikasikan secara langsung metode-metode yang didapatkan dari negara-negara dimana mereka belajar.

1. Faktor-faktor yang Perlu Dipertimbangkan

Tingkat teknologi yang diketahui adalah sangat penting. Suatu hal yang tidak realistis merencanakan lompatan teknologi jauh ke depan dalam praktek penggunaan lahan pada suatu areal, dimana keberadaannya pada dasarnya oleh orang-orang yang buta huruf yang hanya memiliki dasar adat dan tradisi saja bukannya ilmu. Laju penyerapan ilmu yang konstan mungkin dapat dicapai dengan merubah perencanaan, proyek tetapi saat memulainya mungkin akan lambat. Sasaran pendidikan yang pertama kali adalah untuk memulai proses perubahan. Pada tingkat pengetahuan teknologi yang lebih tinggi, perubahan teknologi yang dapat direncanakan juga lebih besar.

Faktor sosial dan budaya merupakan faktor penting yang menentukan bagi pendidik. Seringkali mereka sendiri menggambarkan reaksi masyarakat terhadap kemajuan teknik yang diberikan kepadanya. Selanjutnya tingkah laku mereka sama, dan sebagian bersikap menghormati lingkungan alam mereka. Konsekuensinya faktor-faktor ini merupakan suatu elemen penting untuk menentukan model pengajaran yang akan dipakai.

Organisasi sosial masyarakat yaitu strategi dan kriteria yang harus ditentukan berdasarkan kepentingan keluarga, suku dan desa, pembagian tenaga kerja berdasarkan jenis kelamin, kepadatan penduduk, urbanisasi dll. Seluruh jenis kegiatan bersama berpengaruh pada faktor-faktor yang bervariasi. Penentuan unit kerja bagi pendidik apakah itu desa, suku atau gabungan dari beberapa desa. Bagi negara-negara yang sedang berkembang desa merupakan pembagian kerja yang paling baik.

Tradisi dan Kebiasaan berhubungan dengan perumahan, penyebaran dan konsentrasi, nomaden, jalan hidupnya, kebiasaan makannya, kesehatan dan kebersihan serta beberapa hal yang penting bagi metode-metode penggunaan lahan dan air secara tradisional.

Untuk masalah yang demikian, pengembalaan liar dan berpindah-pindah bertanggung jawab atas perubahan yang berangsur-angsur menjadi padang pasir yang terus meluas dari lahan yang pada saat ini merupakan tanah kosong yang subur dan melimpah.

Pendidikan tingkat pendidikan masyarakat mempengaruhi sikap terhadap kemajuan. Konsekuensinya adalah pendidik sebagai bagian aktif atau pasif bagi kegiatan yang akan dilakukan oleh masyarakat. Di sini yang dapat kita catat adalah tingkat pendidikan secara umum seringkali berpengaruh terhadap tingkat perubahan teknik yang dapat dicapai.

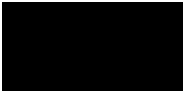
Faktor Perundang-undangan dan Masa Guna Lahan merupakan hal yang sangat istimewa dari semua peradaban. Hukum berhubungan kemakmuran yang nyata dan memiliki dampak yang sangat penting terhadap : ukuran dan struktur lahan pertanian, dalam pergiliran tanaman dan metode-metode pertanian yang sesuai dengan kebutuhan. Pemecahan tanah milik menjadi beberapa bagian yang hanya merupakan lahan sempit dan ke arah kemiringan lahan mengakibatkan pembajakan di atas kontur praktis tidak mungkin. Hal demikian ini diperlukan pada beberapa waktu untuk mendukung pengelolaan DAS yang dikonsolidasikan dengan pemilik lahan.

Peraturan pemerintah tentang tata cara masa guna lahan merupakan faktor penting dalam penggunaan lahan. Beberapa perkembangan teknologi khusus memiliki nilai yang berbeda untuk: petani bagi hasil, pemilik sementara sebuah plot yang lahannya semestinya bukan miliknya dan penyewa tentang kelebihan atau kekurangan atas dasar waktu dan pemilik yang lama.

Penggunaan air bersih merupakan hal yang sangat penting bagi negara-negara di daerah kering. Kepercayaan populer dan tradisi juga memerankan satu bagian yang berbeda. Mereka selalu saja memberikan suatu pendapat yang keliru tentang hubungan antara fenomena alam yang bervariasi. Untuk masalah yang demikian ini, masyarakat paling tidak mengerti bagaimana vegetasi dapat mempengaruhi *run off* dari air hujan.

Agama begitu pentingnya faktor ini hingga dapat berpengaruh pada negara. Untuk beberapa waktu lamanya, agama secara langsung dapat mempengaruhi penggunaan lahan dan air (dalam hal ini kekeramatan dari suatu pohon hutan dan binatang-binatang aslinya). Bagaimanapun agama selalu memiliki pengaruh tidak langsung terhadap sikap dan tingkah laku secara umum bagi pendidik.

Seluruh faktor-faktor sosial dan budaya tersebut merupakan suatu kenyataan, tetapi kenyataan yang bersifat sementara dan dapat diubah. Tujuan jangka panjang dari pendidik adalah secara tepat memandu perubahan jangka panjang sesuai dengan ketentuan untuk menghasilkan pengaruh lingkungan yang baik bagi program-programnya. Dia harus menunjukkan banyak sekali perbandingan dengan penuh kesabaran.



Daftar Pustaka

- Anonimus, 2000. *Ecological Principles for Managing Land Use. Brochure based on "Ecological Principles and Guidelines for Managing the Use of Land"*. Ecological Society of America White Paper, Published in Ecological Applications, Volume 10. Number 3 (June 2000). Homepage. <http://www.esa.org/science/PositionPapers/ppDocuments/LandUseb.html>. Diakses tanggal 15 April 2005.
- Anonimus, 2002. *Penyusunan Kriteria, Indikator dan Parameter Kerusakan Ekosistem Daerah Aliran Sungai*. Laporan Akhir. Kerjasama Fakultas Kehutanan UGM dan Proyek Pengendalian Keamanan Keanekaragaman Hayati (PPKKH) Kementerian Lingkungan Hidup. Yogyakarta.
- Anonimus, 2005. *Laporan Pendahuluan Pembinaan Masyarakat di Sekitar Sumber Air dalam Rangka Konservasi*. Semarang
- Arsyad, S. 1989. *Konservasi Tanah dan Air*. Penerbit IPB. Bogor.
- Asdak, C., 2004. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Badrudin, M. 1978. *Penyelidikan Lingkungan Perairan*. Majalah Dwiwulan Pekerjaan Umum. No. 3 Th. XV April 1978. Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum. Departemen. PUTL.
- Bale A, Ilmu Tanah I.. Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Bale A, Ilmu Tanah II.. Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

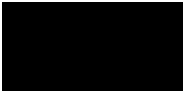
- Barley, K.P and Greacen, E. L. 1967. *Mechanical Resistance as a Soil Factor Influencing the Growth of Roots and Underground Shoots*. Adv. Agron. 19:1-40.
- Bennet, H.H. 1939. *Element of Soil Conservation*. Me. Graw Hill. New York.
- Barley, K.P and Greacen, E. L. 1967. *Mechanical Resistance as a Soil Factor Influencing the Growth of Roots and Underground Shoots*. Adv. Agron. 19:1-40.
- Bennet, HH. 1939. *Element of Soil Conservation*. Me. Graw Hill. New York.
- BP DAS SOP, 2002. *Rencana Teknik Lapangan - Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah Daerah Aliran Sungai Telomoyo*. Balai Pengelolaan DAS Serayu Opak Progo, Yogyakarta.
- BPSDA Probolo. 2005. *Konservasi Sumber daya Air dengan Pemberdayaan Masyarakat Pada Kali Kalong Sub DAS Kemit Kabupaten Kebumen*. Balai Pengelolaan Sumber Daya Air Progo Bogowonto Luk-Ulo, Kutoarjo.
- Buringh, P. 1979. *Introduction to The Study of Soil in Tropical and Subtropical Regions*. Center for Agric. Publ. And Documentation. Wageningen. The Netherlands.
- Depari, K.S. 1962. *Pencegahan Erosi melalui Reboisasi*. Medan Plater's Conference
- Dephut. 1997. *Buku Pintar Penyuluhan Kehutanan*. Pusat Penyuluhan Kehutanan. Dephut. Jakarta.
- Downie, Scott, Halligan, D and Taylor, R. 1998. *Watershed Processes and Erosion Control: A Workbook and Compendium*. Homepage. <http://www.humboldt.edu/~fffc/wspeg.html> dan <http://www.gcario.org/geo/soil.html>. Diakses tanggal 8 Juni 2005.
- Ecological Society of America, 2000. *Ecological Principles for Managing Land Use*. Brochure based on "Ecological Principles and Guidelines for Managing the Use of Land". Ecological Society of America White Paper, published in Ecological Applications, Volume 10. Number 3 (June 2000). Homepage. <http://www.esa.org/science/PositionPapers/ppDocuments/LandUseb.html>. Diakses tanggal 15 April 2005.
- Fakultas Kehutanan UGM, 2002. *Penyusunan Kriteria, Indikator dan Parameter Kerusakan Ekosistem Daerah Aliran Sungai*. Laporan Akhir.

- Kerjasama Fakultas Kehutanan UGM dan Proyek Pengendalian Keamanan Keanekaragaman Hayati (PPKKH) Kementerian Lingkungan Hidup. Yogyakarta.
- Foster, G.R and Meyer, L.O. 1975. *Mathematical Simulation of Upland Erosion by Fundamental Erosion Mechanics* USDA. ARS. Pub.
- Gardner. 1991. *Fisiologi Tanaman Budidaya*. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Hadisusanto, N. 2010. *Aplikasi Hidrologi*. Jogjamedia Utama.
- Hamilton L.S dan Peter, NK 1997. *Daerah Aliran Sungai Hutan Tropika*. Gajahmada University Press.
- Hammer. H.I. 1980. *Soil Conservation Consultant Report*. Centre for Soil Research. Bogor. Tech. Note No.7
- Hidayati. 1994. *Tanah Kritis Pencegahan dan Pemulihannya*. Penerbit Nusa Indah. Flores. Nusa Tenggara Timur.
- Hilborn, D. and Stone, R.P., 1988. *Gully Erosion Control*. Homepage : <http://www.gov.on.ca/OMAFRA/english/engineer/facts/88-059.htm>. Last reviewed 1997. Diakses tanggal 11 Juli 2005.
- Hudson, N.W. 1976. *Soil Conservation*. Batsford London.
- Ilyas, M. Arief, 1998. *Penelitian Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Banjir, Erosi, dan Sedimentasi Pada Sub-DAS Cigulung Maribaya*. Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pengairan No. 40 Th. 13-KW I. Badan Litbang PU. Puslitbang Pengairan.
- Iskandar U, 2001, *Kehutanan menampak Otonomi Daerah..* Debut Press. Yogyakarta.
- IWMI, 2004. *Research to combat soil erosion*. International Water Management Institute. Homepage : http://www.iwmi.cgiar.org/home/soil_erosion.htm. Diakses tanggal 11 Juli 2005
- LEE. R. 1976. *Influence of Residu Mulches and Tillage Methods on Soil Structure and Infiltration Rate, In Modification of Soil Structure* ISSS. Meeting of Comm.1. Adelaide. Aug. 23-27. Wiley London.
- LEE, R. 1988. *Hidrologi Hutan*. Gajah Mada University Press. Jogjakarta.
- LEE, R. (editor). 1988. *Soil Erosion Research Methods*. Soil and Water Conservation Society 7515 Northeast Ankeny Road Ankeny, Iowa 50021-9764 and Subcommission C: Soil Conservation and Environment International Society of Soil Science P.O. Box 353, 6700 AJ Wageningen, The Netherlands.
- LIPI. 1968. *Workshop of Food Report*. Jakarta.

- Lopez C and Shanley P. 2005. *Kekayaan Hutan Asia*. PT. Gramedia Utama. Jakarta
- Lull, HW., 1964. *Ekological and Silvikultur Aspects Section 6* dalam Handbook of Applied Hydrology Vente Chow(ed.) MacGraw-Hill. New York.
- Mahastra, C.V. 2005. *Laporan Pendahuluan Pembinaan Masyarakat di Sekitar Sumber Air dalam Rangka Konservasi*. Semarang
- Manan, S. 1977. *Reboisasi dan Penghijauan Daerah Aliran Sungai*. Warta Pertanian No. 44. Thn. VII. Departemen Pertanian. Jakarta.
- Manan, S. 1998. *Hutan Rimbawan dan Masyarakat*. IPB Press. Bogor.
- Milos Holy. 1971. *Water and the Environment*. FAO Irigation and Drainage Paper 8. Rome
- Morgan. R.C.P. 1979. *Soil Conservation*. Longman. London.
- Muhammad, H. 1997. *Condition and Problem of Groundwater in Bandung Basin and its Solution. Paper Presented at Workshop on Water Quality Research and Development*. Bandung. February 24-26. 1997. Institute of Ecology. Padjadjaran University. Bandung.
- Primack R. B. dkk, 1998, *BIOLOGI KONSERVASI*. Yayasan Obor Indonesia. Jakarta.
- Priyono, C.N.S., 2002. *Land Conservation and Reforestation. Paper for the International Training Course on Sabo Engineering and Water Induced Disaster Countermeasures*. Organized by Min. of Settlement and Regional Infrastructure. Sabo Technical Center and JICA. Yogyakarta September 4 - 8 Oktober 2002.
- Rismunandar. 1993. *Air, Fungsi dan Kegunaannya bagi Pertanian*. Sinar Baru Agensindo. Bandung.
- Ruf F and Lancon F, 2005, *Dari Sistem Tebas dan Bakar ke Peremajaan Kembali*. Salemba Empat. Jakarta.
- Sadikin, S. W. 1975. *Pencegahan dan Pemulihan Tanah Kritis*. Laporan Panitia Pengarah Simposium Pencegahan dan Pemulihan Tanah Kritis. Jakarta.
- Sagala P, 19.. *Melestarikan dan Memanfaatkan Hutan*. Balai Reboisasi Banjarbaru. Banjarmasin.
- Salim, E. 1980. *Lingkungan Hidup dan Pembangunan*. Cetakan ke-2. Mutiara. Jakarta.
- Setijono S, 1996. *Intisari Kesuburan Tanah*. IKIP MALANG. Malang.
- Seyhan, E. 1990. *Dasar-dasar Hidrologi* (terjemahan Fundamental of

- Hydrology oleh Sentot Subagya). Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Sharma P, 1992, *Managing the World's Forest*. KENDALL/HUNT PUBLISHING COMPANY. United States of America
- Simon H. dkk, 1996, *Memantapkan Bina Desa Hutan Dalam Upaya Pengelolaan Hutan Lestari*. PT. Inhutani, PT. Intracawood, PT. Sumalindo Lestari Jaya, Fakultas Kehutanan UGM. Yogyakarta .
- Sitanala Arsyad. 1976. *Pangawetan Tanah dan Air*. IPB. Bogor.
- Soemarto, CD. 1986. *Hidrologi Teknik*. Usaha Nasional-Surabaya Indonesia.
- Soemarwoto, O. 1988. *Peranan Vegetasi dalam Pencagaran Air dan Tanah*. Pusat Penelitian Sumberdaya Alam dan Lingkungan. Universitas Padjadjaran. Bandung.
- Soewardjo. 1981. *Peranan Sisa Tanaman dalam Konservasi Tanah dan Air Pada Usaha Tani Tanaman Semusim*. Disertasi. IPB. Bogor.
- Sri Harto Br, 2000. *Hidrologi : Teori, Masalah, Penyelesaian*. Penerbit Naviri. Yogyakarta.
- Steila, D. 1976. *The Geograph of Soil, Formation, Distribution and Management*. Prentice Hall. Inc. Englewood Cliffs. New Jersey.
- Subadio Susetyo. 1977. *Rehabilitasi Tanah Kritis dengan Tanaman Makanan Ternak dan Pengaruhnya oleh/untuk Ternak*. Fakultas Pertanian IPB. Bogor.
- Subari A. *Penyelamat Bahaya Erosi (Bahia grass) Pengujian di Jatiluhur*. Warta Pertanian No. 3-4-5, 1971. Departemen Pertanian. Jakarta.
- Subroto dan Yusrani, A 2005. *Kesuburan dan Pemanfaatan Hutan*. Bayumedia Publishing. Malang.
- Sudarto Handoyono. Dkk. 1979. *Permasalahan Vegetasi Daerah Aliran Sungai Waduk Jatiluhur*. Seminar Masalah Erosi DAS Jatiluhur. Seminar Masalah Erosi DAS Jatiluhur. Lembaga Ekologi Universitas Padjadjaran. Bandung.
- Sukrisno dan S. Warsono. 1990. *Penyelidikan Hidrogeologi dan Konservasi Air Tanah Cekungan*. Bandung. Jawa Barat. Departemen Pertambangan dan Energi. Dirjen Geologi dan Sumberdaya Mineral. DGTL. Bandung.
- Sumardi dan Widyastuti M.S. 2004. *Dasar-dasar Perlindungan Hutan*. GADJAH MADA UNIVERSITY PRESS. Yogyakarta.
- Suripin, 2002. *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. Penerbit Andi. Yogyakarta.

- Sutanto R, 2005. *Dasar-asar Ilmu Tanah*. KANISIUS. Yogyakarta
- Suwardjo. 1978. *Penelitian Pendahuluan Penggunaan Sisa-sisa Tanaman untuk Konservasi Tanah*. L.P. Tanah. Bogor.
- Suwartha, N., 2005. *Soil Erosion and Sediment Discharge from Cultivated Slope Linking with Sedimentation in the Mrica Reservoir, Central Java, Indonesia*. Thesis. Research Group of Forest Management Laboratory of Erosion Control, Graduate School of Agriculture, Hokkaido University.
- Manan S, 1977. *Reboisasi dan Penghijauan Daerah Aliran Sungai*. Warta Pertanian No. 44. Thn. VII. Departemen Pertanian. Jakarta.
- Utomo, W.H dan Sugeng Bahagio. 1982. *Pengaruh Pengelolaan Tanaman Kentang terhadap Limpasan Permukaan dan Erosi*. Pertemuan PSL se Indonesia. Lembaga Ekologi Unpad. Bandung.
- Utomo, W.H, and Dexter, A.R. 1981. *Soil Fertility*. J. Soil. Sei. 32 : 203-213.
- Wall, G., C.S. Baldwin, dan I.J. Shelton, 1987. *Soil Erosion - Causes and Effects*. Homepage : <http://www.gov.on.ca/OMAFRA/english/engineer/facts/87-040.htm>. Last reviewed 2003. Diakses tanggal 11 Juli 2005.
- Wanielista, M.P., 1990. *Hydrology and Water Quality Control*. John Wiley and Sons. New York.
- Whyte, R.O : T.R.G. Moir and J.P. Cooper. 1959. *Grasses in Agriculture* FAO.
- Wischmeier. W.H and Smith, D.D. 1958. *Rainfall Energy and its Relation to Soil loss*. Trans. Am Geophysic. 39:285-291
- Wishmeier. W.H. 1976. *Use and Misuse of the Universale Soil Loss Equation*. Journ. Soil & Water Cons. 31 (1)
- Yang, C.T., 1996. *Sediment Transport : Theory and Practice*. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Zain Alam Setia. 1996. *Hukum Lingkungan Konservasi Hutan dan Segi-Segi Pidana*. RINEKA CIPTA. Jakarta.



Glosarium

Agradasi tanah : proses peningkatan produktivitas tanah.

Bangunan di sungai : semua bangunan yang ada di dalam sungai.

Bangunan pengalih : saluran individual yang dibuat melintang yang digunakan untuk menahan aliran permukaan dan menyalurkan ke *out let* yang aman.

Bangunan sungai : bangunan yg berfungsi untuk perlindungan, pengembangan, penggunaan dan pengendalian sungai.

Banjir : keadaan sungai dimana aliran airnya tidak tertampung oleh palung sungai, dan atau genangan pada lahan yang semestinya kering.

Bantaran sungai : lahan pada kedua sisi sepanjang palung sungai dihitung dari tepi sungai sampai dengan kaki tanggul sebelah dalam.

Catchment area : daerah tangkapan air hujan yang jatuh di atas sebuah daerah aliran sungai, mula-mula diterima oleh vegetasi.

Daerah sempadan sungai : kawasan sepanjang kiri kanan sungai yg mempunyai manfaat penting untuk mempertahankan kelestarian fungsi sungai.

Dataran banjir : lahan pada kedua sisi sepanjang palung sungai yg pada saat-saat tertentu dapat tergenang banjir.

Debit : volume air mengalir per satuan waktu melewati suatu penampung melintang aliran.

Degradasi : lahan yang tanahnya telah mengalami proses penurunan tingkat produktivitas tanah.

DPS atau DAS : suatu kesatuan wilayah tata air yg terbentuk secara alamiah dimana air meresap dan atau mengalir melalui sungai dan anak-anak sungai ybs.

Erosi : proses hilangnya bahan organik pada lahan terbuka akibat air hujan yang terakumulasi membentuk limpasan permukaan (*run off*).

Evaporasi adalah penguapan pada permukaan air terbuka dan permukaan tanah.

Evapotranspirasi adalah penguapan dari tanaman dan permukaan air terbuka dan permukaan tanah.

Garis sempadan sungai : garis batas luar pengamanan sungai.

Ground water storage : tempat penampungan air di bawah tanah dan dari tempat ini, air akan keluar mengalir ke sungai secara teratur sebagai mata air atau sumber air.

Infiltrasi : aliran dari batang ke akar kemudian masuk ke dalam tanah melalui pori-pori tanah.

Intersepsi : aliran air hujan yang tertahan oleh tajuk mengalir ke bawah melalui batang, cabang dan ranting.

Konservasi tanah dan air : usaha-usaha untuk menjaga dan meningkatkan produktivitas tanah, kualitas dan kuantitas air.

Masalah banjir : kondisi dimana banjir akan atau telah menimbulkan kerugian.

Padang rumput : sumber endapan terbesar dan penyumbang utama dalam menimbulkan banjir.

Palung sungai : cekungan yg terbentuk oleh aliran air.

Pengelolaan DAS : pengorganisasian secara tepat dari penggunaan sumberdaya-sumberdaya alam dengan asumsi bahwa sumber-sumber tersebut digunakan secara bijaksana untuk pemanfaatan secara tetap dan berkelanjutan oleh masyarakat.

Perkolasi : Bergeraknya air menuju tempat yang lebih rendah dengan daya gravitasi.

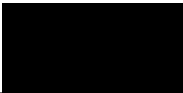
Stemflow : air yang dialirkan melalui proses aliran batang.

Sungai : jaringan pengaliran air mulai dari mata air sampai dengan dibatasi kanan dan kirinya sepanjang pengalirannya oleh GS.

Transpirasi : air yang menguap melalui bagian-bagian tanaman (vegetasi).

Troughfall : air yang jatuh secara langsung ke bawah pohon.

WS : adalah kesatuan wilayah tata pengairan sebagai hasil pengembangan satu atau lebih DPS/DAS.



Indeks

A

Aggregate 43,76-78,111, 116,119, 129

Aliran 8, 29, 31,34,43 44

Air 8, 29, 31, 34, 43, 44

Alur 12, 42, 176

B

Banjir 3, 7, 34, 111, 113, 142, 145

Biologi 4, 194, 196

Butir 41, 60. 61

C

Curah 29, 34, 59, 62-64, 98

Curam 54

D

DAS 169-175, 180-188, 192-205

Debit 30

Degradasi 1, 5-7

E

Efektivitas 53

Ekosistem 2, 29, 37

Endapan 42, 45, 47, 48, 150

Energi, 3, 43, 60, 90

Erodibilitas 3, 5-9, 15, 25, 30, 34

Erosivitas 31, 57-59, 61, 64

Evapotranspirasi 72, 88, 120, 125, 137

F

Fauna 193

Fertilitas 162

G

Geografis 2

Geologi 54

Gravitasi 51, 60, 69, 70, 83

H

Hidrologi 4, 39, 141, 172, 194

Hujan 29, 31-37, 41, 47, 51

Humus 79

Hutan 1, 5, 8, 9, 11, 12, 16

I

Iklim 2, 41, 57, 109, 110. 155, 193

Infiltrasi 7, 30, 34, 42-44, 48, 57

Intensitas 31, 32, 43, 59, 61-63

Irigasi 160, 177

J

Jenuh 42, 70, 71, 83

K

Kapasitas 70, 79, 83, 86

Kapiler 44, 69, 70, 87

Kecepatan 43, 58, 60, 61, 86, 87

Kedap 54, 55, 71

Kehidupan 2

Kekuatan 58

Kelembaban 72, 73, 81, 145

Keterangan 49, 102, 128

Kemiringan 44

Kerusakan 2, 3, 28, 34, 93

Keseimbangan 42, 72

Kesuburan 2, 8, 44, 109 111

Konservasi 1-4, 15-28, 34, 93

Kritis 2, 39, 46, 49, 113, 117

Kualitas 1, 125, 193

Kuantitas 1

L

Lahan 1, 5-15, 28, 93, 97

Laju 46, 50, 85, 93

Lapangan 196

Lapisan 26, 45-47

Lempung 75

Liat 44, 73-77, 79

Lingkungan 1, 26, 27, 113, 156

Longsor 54, 171

M

Makro 44, 71, 109, 115

Mencegah 3

Mikro 44, 71, 83

N

Nitrogeb 80

O

Optimal 83

Organik 44, 48, 65, 67, 78-80

Organisasi 203

P

Partikel 43-47, 50, 51, 66, 73

Pelepasan 41

Pembakaran 2, 8

Pembangunan 1, 16

Penampungan 44, 85, 184

Penebangan 15-19, 27, 28, 38, 54

Pengangkutan 41

Pengawetan 1, 58

Pengendapan 21, 41, 74

Penghujan 3

Pengikisan 42, 47, 54, 143

Pengukuran 85, 86

Perkolasi 82, 83, 84-88, 112, 113

Permeabilitas 82, 83, 85, 88

Permukaan 3, 7, 12, 33-36, 46-48

Perubahan 6, 41

Petani 2, 8, 205

Pori 43, 96-71, 73

Porositas 37, 83, 121

Potensial 43, 51

Profil 87

R

Reboisasi

S

Sedimen 51, 94, 95, 171

Selokan 46, 53, 54, 171, 182

Struktur 44, 66, 67, 76, 77, 100

Sumberdaya 1, 193

Sungai 7, 20-24, 29-31, 33, 42

T

Tanah 1-4, 6, 12, 15, 20

Teknologi 1, 2, 205

Tekstur 74, 75, 83, 100

Terlindungi 3

Topografi 2, 29, 57, 155

Topsoil 42

Tradisi 205

Transmigrasi 1, 91

Tropis 58, 63, 154

Tumbuhan 3, 20

V

Vegetasi, 2, 36, 37, 51, 54, 55, 57,
83, 84

Volume 20, 68

