

DIKTAT KULIAH

PENGELOLAAN DAERAH ALIRAN SUNGAI



Oleh:

**Dr. Muhammad Amin, M.Si.
Dr. Ir. Ridwan, M.S.
Ir. Iskandar Zulkarnaen, M.Si.**

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
2018**

HALAMAN PENGESAHAN DIKTAT KULIAH

Judul Diktat Kuliah : Pengelolaan Daerah Aliran Sungai

Penulis (1)

a. Nama Lengkap : Dr. Muhammad Amin, M.Si.
b. NIP : 196102201988031002
c. Jabatan Fungsional : Lektor
d. Program Studi : Teknik Pertanian
e. Nomor HP /email : 0812 2880 1144 / amin.geotep@gmail.com

Penulis (2)

a. Nama Lengkap : Dr. Ir. Ridwan, M.S.
b. NIP : 196511141995031001
c. Jabatan Fungsional : Lektor
d. Program Studi : Teknik Pertanian
e. Nomor HP / email : 082112233682 /zahabridwan@gmail.com

Penulis (3)

a. Nama Lengkap : Ir. Iskandar Zulkarnain, M.Si.
b. NIDN : 0004096101
c. Jabatan Fungsional : Lektor
d. Program Studi : Teknik Pertanian
e. Nomor HP /email : 0812 7218 846 / zul2007@gmail.com

Bandar Lampung, 4 Juni 2018

Mengetahui,

Wakil Dekan Bidang Akademik
Dan Kerjasama FP Unila,

Penyusun,

Prof. Dr. Ir. Dermiyati, M.Agr.Sc.
NIP 196308041987032002

Dr. Muhammad Amin, M.Si.
NIP. 196102201988031002

Menyetujui,
Ketua LP3M Universitas Lampung,

Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.S,
NIP 196403261989021001

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT Yang Maha Pengasih lagi Maha Panyayang, Kami panjatkan puji syukur atas kehadiran-Nya, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya kepada kami, sehingga kami dapat menyelesaikan Diktat kuliah Hidrologi Daerah Aliran Sungai.

Diktat kuliah ini telah kami susun dengan maksimal dan dibuat untuk memenuhi bahan bacaan pada mata kuliah Hidrologi, baik untuk kebutuhan Jurusan Teknik Pertanian, maupun untuk kebutuhan di Jurusan lainnya . Terlepas dari semua itu, kami menyadari sepenuhnya bahwa masih ada kekurangan, oleh sebab itu, kritik dan saran akan kami terima dengan lapang dada.

Akhir kata kami berharap semoga modul tentang kelompok petani pemakai air irigasi dapat bermanfaat untuk kami sebagai sumber bacaan dan untuk menambah pengetahuan dalam bidang mekanisasi pertanian.

Bandar Lampung, Mei 2018

Tim Penyusun

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
A. Pendahuluan.....	6
BAB I. EKOSISTEM DAS.....	4
1.1. Batasan DAS	4
1.2. Komponen Biofisik DAS.....	8
1.1.1. Luas Daerah Aliran Sungai.....	8
1.2.2. Bentuk Daerah Aliran Sungai	9
1.2.3. Pola Kerapatan Aliran	9
1.2.4. <i>Orde Percabangan Sungai</i>	11
1.2.5. <i>Panjang Dan Gradien Sungai Utama</i>	12
1.3. Sistem Hidrologi dalam Pengelolaan DAS.....	13
BAB II. PERGERAKAN AIR DAN PENGELOLAAN DAS.....	19
2.1. Konsep Dasar Neraca Air	19
2.2. Fenomena Siklus Hidrologi DAS.....	20
2.2.1. <i>Curah Hujan</i>	22
2.2.2. <i>Intersepsi</i>	24
2.2.3. <i>Evapotranspirasi</i>	25
2.2.4. <i>Infiltrasi</i>	27
2.2.5. <i>Limpasan (Runoff)</i>	29
2.3. Pengelolaan DAS	31
BAB III PERAN PENUTUP LAHAN SEBAGAI PENGENDALI BANJIR	34
3.1. Sifat-sifat Vegetasi dan Tanah	34
3.1.1. Sifat-Sifat Vegetasi	35
3.1.2. Sifat Tanah	36
3.2. Sistem Perakaran dan Rongga-Rongga dalam Tanah.....	36
3.2.1. Sifat Tanaman terhadap Air	38
3.2.2. Perubahan Penutup Lahan dan Respon Aliran Sungai	40
3.3. Keterkaitan Banjir dengan Iklim dan Lahan Hutan	42
3.4. Upaya Pengendalian Banjir.....	49
3.4.1. Pengelolaan Aliran Limpasan.....	49
3.4.2. Beberapa Konsep Pengendalian Banjir.....	52
BAB IV. PERILAKU MASYARAKAT DALAM MENGELOLA LAHAN DAS	56
4.1. Perilaku masyarakat dalam mengolah lahan pertanian.....	56
4.2. Pendekatan Ekonomi dalam Mengelola Lahan	58
4.3. Peranan Kelembagaan Sosial Ekonomi dalam Mengelola Lahan	61
BAB V. MODEL KETERSEDIAAN AIR UNTUK PENGELOLAAN DAS	63
5.1. Pemodelan Hidrologi	63
5.2. Pembuatan model ketersediaan air untuk pengelolaan DAS	66
BAB VI. KONSERVASI AIR TANAH	71
6.1. Pengertian Konservasi Air	71
6.2. Upaya Konservasi Airtanah.....	72

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perbandingan arah Pengelolaan DAS secara Klasik dan Modern... 24	
Tabel 3.1. Kedalaman Perakaran pada Berbagai Jenis Tanaman 32	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Bentuk DAS dan Grafik Hidrograf Aliran	3
Gambar 1.2. Diagram Ekosistem Daerah Aliran Sungai	8
Gambar 2.1. Siklus Hidrologi DAS	13
Gambar 2.2. Skema Pergerakan Air dan Komponen Siklus Hidrologi	14
Gambar 2.3. Proses Kondensasi, Penguapan dan Terbentuknya Awan	15
Gambar 2.4. Proses Pergerakan Awan oleh Angin	16
Gambar 2.5. Proses Pergerakan Awan dan Kejadian Hujan	16
Gambar 2.6. Proses Penguapan dan Panas Sinar Matahari	19
Gambar 2.7. Proses Evapotranspirasi, Penguapan dan Transpirasi	19
Gambar 2.8. Infiltrasi dan Perkolasi	21
Gambar 2.9. Terbentuknya Sumber Air di Alam	21
Gambar 2.10. Proses Aliran Air Permukaan	22
Gambar 3.1. Sistem Perakaran dan Rongga-rongga dalam Tanah	29

DAFTAR TABEL

A. Pendahuluan

Tiada kehidupan tanpa air. Sejak manusia lahir ke dunia fana ini hidup dalam lingkungan air yaitu dalam gua garba selama kandungan sampai lahir ke dunia. Di dunia fana telah dibuktikan bahwa dengan berkurangnya air di dalam tubuh, maka akan terjadi dehidrasi yang bila berlanjut akan menuju pada kematian. Hal ini menjadi dasar identifikasi pembuktian dari hipotesis tentang ketiadaan suatu kehidupan di planet lain yaitu tanpa keberadaan unsur hydrogen atau air. Arti penting air ini telah disadari oleh manusia sejak zaman peradaban dimulai. Hal ini terbukti bahwa dalam konteks kultural sejak zaman dahulu kala air telah mempunyai posisi sentral, yaitu dengan adanya predikat air, candi petirtaan prasasti tentang keairan (Sukarto, 1983 dalam Sunjoto, 2000) ritus kepercayaan, ritus keagamaan, dan juga pengaruhnya terhadap *etymological process* terutama untuk penamaan tempat atau daerah.

Berbagai bangsa di dunia menempatkan air pada posisi yang sangat tinggi, hal ini dapat dilihat dari cara pemredikatannya. Orang di negeri Eropa menyebut air sebagai *fons vitae* atau air kehidupan, bahasa Yunani menyebut air dengan *nectar* dan *ambrosia* yang berarti minuman dan makanan dewa. Orang Belanda menyebut *levens water* atau air kehidupan. Orang Inggris menyebut *the elixir of life* yang berarti sesuatu yang mutlak diperlukan untuk hidup. Orang Perancis menyebut air dengan *la source de vie*, demikian pula orang Arab menyebutnya *maul khayat* dan orang Madura menamakan *somber odik* yang semuanya berarti sumber kehidupan. Dan bahasa Sansekerta menyebut dengan banyak nama yang

berarti air kehidupan antara lain *firta nirmala*, *tirtha kamandalu*, *amrta njiwani*, *banyu beningpawita sari* dan seterusnya (Sunjoto, 2000).

Betapa pentingnya kegunaan air bagi kehidupan, namun manusia kurang bisa mengendalikan dan memelihara sumberdaya air tersebut secara optimal. Kerusakan sumberdaya air dan ekosistemnya tak dapat dihindari. Di Indonesia, telah terjadi kerusakan daerah aliran sungai (DAS) yang menjadi isu cukup merisaukan sejak dua dasawarsa terakhir. Pada tahun 1980-an jumlah DAS yang kritis mencapai 22 DAS, dan sepuluh tahun kemudian angka itu meningkat menjadi 60 DAS kritis. Sebagian besar DAS kritis berada di Pulau Jawa. Ditinjau dari segi hidrologi, tingkat kekritisitas DAS ditunjukkan dengan semakin besarnya rasio antara debit minimum dengan maksimum, meningkatnya sedimentasi atau kadar lumpur, dan respon hidrologi DAS yang semakin cepat, salah satu indikatornya adalah meningkatnya frekuensi banjir. Penyebab kerusakan DAS bisa dari berbagai faktor, diantaranya perubahan pola penggunaan tanah, pengurangan luas hutan yang sangat signifikan dan pelanggaran tata ruang atau tidak taat asas tata ruang (Solo Pos, 2003).

Kondisi DAS yang rusak mengakibatkan ketersediaan air dalam DAS berkurang. Fenomena rasio debit yang tinggi mengakibatkan ketersediaan air menurun sehingga pada musim hujan terjadi banjir dan pada musim kemarau terjadi kekeringan atau kekurangan air. Ketersediaan air yang menurun disebabkan karena ekosistem DAS terganggu, terutama penurunan fungsi lahan. Penurunan fungsi lahan seperti pola penggunaan lahan berubah, menurunnya kesuburan tanah, penurunan simpanan air (*storage*), dan vegetasi penutup lahan yang berubah.

Masalah pokok yang perlu ditinjau adalah seberapa besar DAS sebagai suatu sistem hidrologi berperan dalam mengatur tata air sehingga ketersediaan air dalam DAS dapat terdeteksi dengan baik. Telaah mengenai ketersediaan air suatu DAS sangat membantu dalam mempelajari tata air DAS, khususnya yang menyangkut jumlah air yaitu jumlah air yang menjadi limpasan dan jumlah air yang masuk ke dalam tanah atau tertahan oleh vegetasi. Informasi tersebut sangat berguna dalam usaha pengelolaan DAS seperti perkiraan penggunaan lahan yang menunjang konservasi.

Analisis ketersediaan dapat dipergunakan untuk merancang pengelolaan DAS dengan melakukan percobaan perubahan pola penggunaan lahan.

Pengubahan pola penggunaan lahan disesuaikan dengan taraf hidup masyarakat, sehingga dapat dimanfaatkan untuk menopang kehidupan masyarakat. Perencanaan pengelolaan DAS sangat penting, karena selain bertujuan untuk mengatur tata air supaya tidak terjadi banjir pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau, juga untuk mengoptimalkan produktivitas hasil pertanian sehingga dapat mencukupi kehidupan masyarakat dalam DAS tersebut. Pada makalah ini dibahas tentang ekosistem DAS, ketersediaan air dalam DAS, upaya pengendalian banjir, dan pengelolaan DAS terpadu.

BAB I. EKOSISTEM DAS

1.1. Batasan DAS

Daerah aliran sungai atau disebut DAS, memiliki beberapa kesamaan kata, antara lain disebut sebagai DPS atau daerah pengaliran sungai, menurut Seyhan (1977) di Amerika Serikat DAS disebut *watershed, drainage basin atau river basin*, sedang di Inggris dipakai istilah *Catchment*.

DAS merupakan daerah yang dibatasi oleh pemisah air topografik (*topographic water divide*), apabila terjadi hujan maka air akan mengalir menuju pada saluran air yang dapat saling bersambungan (sistem sungai), sehingga aliran air terkumpul pada satu sungai dan akan keluar melalui satu saluran (outlet) pada wilayah sungai tersebut.

Ada banyak definisi mengenai DAS, menurut Wiersum (1979) DAS merupakan areal yang menampung, menyimpan, dan mengalirkan air hujan yang jatuh di atasnya, baik dalam bentuk aliran permukaan, aliran bawah permukaan, dan aliran air bawah tanah ke sungai yang akhirnya bermuara ke danau atau laut. Areal ini dipisahkan dengan areal lain oleh pemisah topografis yaitu punggung bukit (*igir*) dan keadaan geologis lainnya terutama formasi batuan.

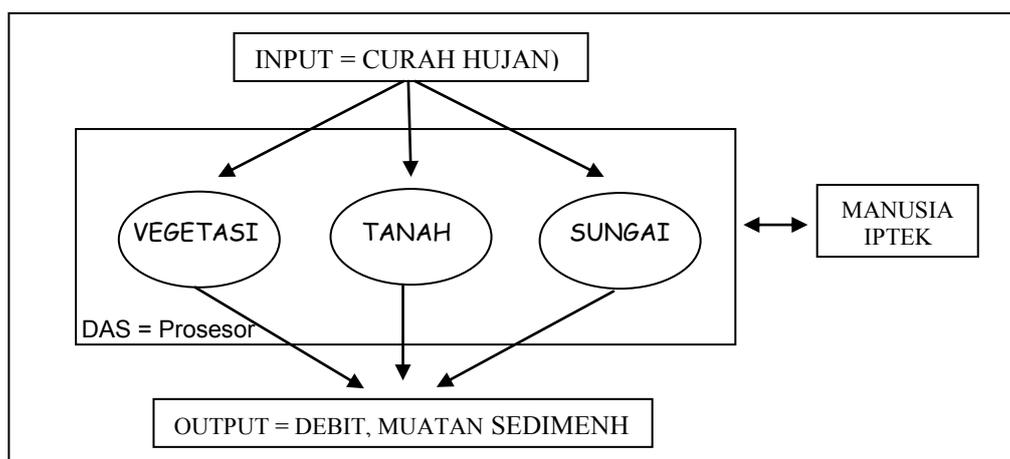
Daerah aliran sungai merupakan daerah yang dibatasi oleh pemisah air topografik yang terkering oleh sungai atau sistem yang saling berhubungan sedemikian rupa sehingga semua aliran sungai yang jatuh di dalam akan keluar dari saluran lepas tunggal dari wilayah itu. Akhir-akhir ini daerah aliran sungai menjadi sorotan karena pelbagai sebab antara lain daerah sungai dipandang tidak hanya sebagai unit hidrologi, tetapi dapat diusulkan sebagai unit pembangunan, daerah aliran di Indonesia banyak, sekitar tiga puluh lima, yang mengalami gejala kerusakan parah disebabkan oleh penggunaan hutan tanah dan air yang kurang mendukung pembangunan yang berkesinambungan.

Ada banyak definisi mengenai DAS, menurut Wiersum (1979) DAS merupakan areal yang menampung, menyimpan, dan mengalirkan air hujan yang jatuh di atasnya, baik dalam bentuk aliran permukaan, aliran bawah permukaan, dan aliran air bawah tanah ke sungai yang akhirnya bermuara ke danau atau laut. Areal ini dipisahkan dengan areal lain oleh pemisah topografis yaitu punggung bukit (*igir*) dan keadaan geologis lain terutama formasi batuan. Definisi lain dikemukakan oleh Linsley (1980) menyebutkan bahwa DAS adalah keseluruhan wilayah yang dikuras

oleh sungai atau sistem sungai saling berhubungan sedemikian rupa sehingga semua aliran sungai akan diluahkan melalui saluran lepas tunggal.

Sungai sebagai sistem sungai dalam DAS merupakan prasarana penting dalam pengurusan unit hidrologik. Akhir-akhir ini wilayah DAS menjadi sorotan karena berbagai sebab antara lain daerah sungai dipandang tidak hanya sebagai unit hidrologi, tetapi dapat diusulkan sebagai unit pembangunan. Jumlah DAS di Indonesia sekitar 35 buah, sebagian besar mengalami gejala kerusakan ringan hingga parah disebabkan oleh pengelolaan dan penggunaan hutan, tanah dan air yang kurang mendukung pembangunan berkesinambungan.

Selain merupakan wilayah tata air, DAS juga merupakan suatu ekosistem, disebut sebagai ekosistem DAS. Unsur-unsur yang terdapat di dalam DAS meliputi sumberdaya alam dan manusia. Sumberdaya alam bertindak sebagai obyek terdiri dari tanah, vegetasi, dan air, sedangkan unsur manusia sebagai subyek atau pelaku pendayagunaan dari unsur-unsur sumberdaya alam. Antara unsur-unsur tersebut terjadi proses hubungan timbal balik dan saling mempengaruhi, dalam sumberdaya alam antara tanah, air, dan vegetasi saling terkait sehingga menghasilkan suatu produk tertentu dan kondisi air tertentu yang pada akhirnya berpengaruh pada kehidupan manusia. Dipihak lain manusia sebagai pelaku pendayagunaan sumberdaya alam banyak melakukan aksi atau perubahan-perubahan pada tanah dan vegetasi, sehingga bereaksi pada hasil produk, perilaku maupun hasil air (lihat gambar 1).



Gambar 1. 1. Fungsi Ekosistem DAS (Asdak, 2002)

Unsur vegetasi, tanah, air, dan manusia harus berkesinambungan, sehingga dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya bagi manusia. Keseimbangan ini menyangkut antar berbagai kepentingan baik pada masa kini maupun yang akan datang, meliputi kepentingan ekologi, ekonomi, produksi, dan kelestarian lingkungan. Ketidak seimbangan dapat mengakibatkan ekosistem DAS tidak lagi berperan sebagai sumber air yang baik bagi kesejahteraan manusia, tetapi dapat menjadikan sumber malapetaka seperti banjir, erosi, dan lain-lain.

Hasil akhir dari proses hubungan timbal balik dan saling mempengaruhi tersebut adalah kondisi hidroorologis wilayah DAS. Menurut Soerianegara (1978) pencerminan atau ukuran dari kondisi hidroorologis tersebut ditentukan dari kemampuan penyediaan air, baik dilihat dari segi kualitas maupun kuantitas dan distribusinya menurut waktu. Kondisi hidroorologis yang baik adalah apabila DAS dapat menjamin penyediaan air dengan kualitas yang baik, kuantitas yang cukup dan distribusi debit yang merata sepanjang tahun.

Keadaan tersebut menunjukkan keseimbangan antara jumlah masukan, keluaran dan perubahan kandungan air dalam sistem DAS. Kondisi tersebut disajikan dalam persamaan sederhana berikut ini (Viessman, et al, 1977).

$$I - Q = ds/dt$$

dengan: I sebagai masukan (inflow),

O sebagai keluaran (outflow), dan

ds/dt perubahan tampungan per unit waktu.

Persamaan ini merupakan persamaan dasar yang dapat digunakan untuk landasan bagi semua analisis dalam sistem hidrologi.

Analisis sistem adalah metode, teknik, atau alat ilmiah yang berguna untuk menyelesaikan persoalan yang berkaitan dengan perilaku sistem, sehingga diperoleh penyelesaian yang optimum. Menurut Soerianegara (1978) pengertian analisis sistem, khususnya dalam perencanaan dan pengelolaan sumberdaya alam adalah pengkajian suatu sistem dengan menggunakan azas metode ilmiah, sehingga dapat dibentuk konsepsi dan model yang dapat digunakan sebagai

dasar pengelolaan untuk mengadakan perubahan-perubahan struktur dan metode serta untuk menentukan strategi kebijakan.

Ekosistem DAS dapat dipelajari menurut kawasan, dibedakan menjadi daerah hulu, tengah, dan hilir. Secara biogeofisik, daerah hulu DAS dicirikan: sebagai daerah konservasi, mempunyai kerapatan drainase lebih tinggi, merupakan daerah dengan kemiringan lereng besar (lebih besar dari 15%), bukan merupakan daerah banjir, pengaturan pemakaian air ditentukan oleh pola drainase, dan jenis vegetasi umumnya merupakan tegakan hutan. Daerah hilir DAS dicirikan sebagai daerah pemanfaatan, kerapatan drainase lebih kecil, merupakan daerah dengan kemiringan lereng kecil sampai dengan sangat kecil (kurang dari 8%), pada beberapa tempat merupakan daerah banjir (genangan), pengaturan pemakaian air ditentukan oleh bangunan irigasi, dan jenis vegetasi didominasi tanaman pertanian kecuali daerah estuaria yang didominasi hutan bakau atau gambut. DAS bagian tengah merupakan daerah transisi dari kedua karakteristik biogeofisik DAS yang berbeda tersebut diatas (Asdak, 2002).

Ekosistem DAS hulu merupakan bagian yang penting karena mempunyai fungsi perlindungan terhadap seluruh bagian DAS. Perlindungan ini antara lain dari segi fungsi tata air. Oleh karena itu, DAS hulu seringkali menjadi fokus perencanaan pengelolaan DAS mengingat. Daerah hulu dan hilir mempunyai keterkaitan biogeofisik melalui daur hidrologi, keterkaitan biofisik antara daerah hulu dan hilir suatu DAS sangat erat. Sebagai contoh kegiatan reboisasi dapat menurunkan limpasan air dan meningkatkan kualitas air tanah, sedangkan aktivitas pembalakan hutan atau deforestasi di daerah hulu DAS dapat meningkatkan limpasan air dan memacu terjadinya erosi karena terjadinya pembukaan permukaan tanah. Kegiatan pemanfaatan sumberdaya alam yang dilakukan di daerah hulu akan menimbulkan dampak terhadap DAS bagian tengah dalam bentuk penurunan kapasitas simpan air yang pada gilirannya berdampak pada daerah hilir karena limpasan yang besar menyebabkan banjir di daerah hilir DAS. Adanya keterkaitan antara daerah hulu dan hilir DAS, dijadikan landasan untuk memanfaatkan DAS sebagai satuan perencanaan dan evaluasi yang logis terhadap program pengelolaan DAS terpadu.

Komponen hidrologi yang terkena dampak kegiatan pembangunan didalam DAS meliputi koefisien aliran permukaan, koefisien regim sungai, nisbah debit maksimum minimum, kadar lumpur atau kandungan sedimen layang sungai, laju,

frekuensi dan periode banjir serta keadaan air tanah. Koefisien aliran permukaan yang biasa diberi notasi C merupakan bilangan yang menyatakan perbandingan antara besarnya aliran permukaan terhadap jumlah curah hujan. Sebagai contoh $C=0,65$ artinya 65% dari curah hujan akan mengalir secara langsung sebagai aliran permukaan (surface run off). Nilai C yang kecil menunjukkan kondisi DAS masih baik, sebaliknya C yang besar menunjukkan DAS-nya sudah rusak. Nilai terbesar C sama dengan 1. Koefisien regim sungai (KRS) adalah bilangan yang merupakan perbandingan antara debit harian rata-rata maksimum dan debit harian rata-rata minimum. Makin kecil harga KRS berarti makin baik kondisi hidrologis suatu DAS. Disamping KRS, kondisi DAS juga dapat dievaluasi secara makro dengan nisbah debit maksimum-minimum (Q_{max}/Q_{min}).

1.2. Komponen Biofisik DAS

Kaitannya dengan sistem hidrologi, DAS mempunyai karakteristik yang spesifik serta erat dengan unsur utama seperti tanah, tata guna lahan, topografi, kemiringan dan panjang lereng, pada saat merespon curah hujan dapat memberikan pengaruh terhadap besar kecilnya evapotranspirasi, infiltrasi, perkolasi, air larian, aliran permukaan, kandungan air tanah dan aliran sungai. Parameter DAS paling mudah untuk diperoleh dan relatif tidak banyak mengalami perubahan adalah sifat geografik dan morfometri DAS.

Biofisik DAS, merupakan sekelompok fenomena geosfer yang terdiri dari unsur fisik dan biologis yang saling berkaitan dan mempunyai hubungan fungsional antara satu dengan lainnya. Sebagai contoh biofisik DAS dapat berupa morfometri DAS, kemiringan lereng, bentuklahan, kondisi tanah (unsur fisik), dan tata guna lahan, penyebaran vegetasi, manusia (unsur biologi).

Karakteristik fisik DAS atau morfometri DAS merupakan istilah yang digunakan untuk menyatakan keadaan jaringan alur sungai secara kuantitatif (Soewarno, 1991). Keadaan yang dimaksud untuk analisis DAS antara lain meliputi: luas, bentuk, pola dan kerapatan aliran, orde percabangan sungai, panjang dan gradien sungai.

1.1.1. Luas Daerah Aliran Sungai

Luas daerah aliran sungai merupakan luas dari bidang datar (bidang proyeksi horisontal) dari daerah pengaliran sungai (Linsley, 1949:245). Luas DAS dapat

diukur dengan planimeter, dengan menentukan terlebih dahulu garis batas antara DAS yang ditentukan berdasarkan perubahan kontur dari peta topografi (Soewarno, 1991). Garis batas antara DAS sebagai igir atau gundukan lahan yang dapat memisahkan dan membagi air hujan menjadi aliran permukaan ke masing-masing DAS.

Panjang dan Lebar DAS mempengaruhi Luas DAS, panjang DAS sama dengan jarak datar dari muara sungai ke arah hulu sepanjang sungai induk. Panjang sungai dapat diukur langsung dari peta topografi menggunakan curvimeter, diukur dari titik muara sampai ujung bagian paling hulu sungai utama. Penentuan sungai utama dipilih dengan cara menyusuri percabangan alur sungai yang mempunyai luas DAS paling besar. Lebar DAS dihitung berdasarkan luas DAS dibagi panjangnya.

1.2.2. Bentuk Daerah Aliran Sungai

Menurut Gregory (1973: 51), bentuk daerah aliran sungai ditentukan oleh besar lingkaran daerah aliran sungai (*basin circularity*) dengan notasi R_c . Besar lingkaran daerah aliran sungai ini dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

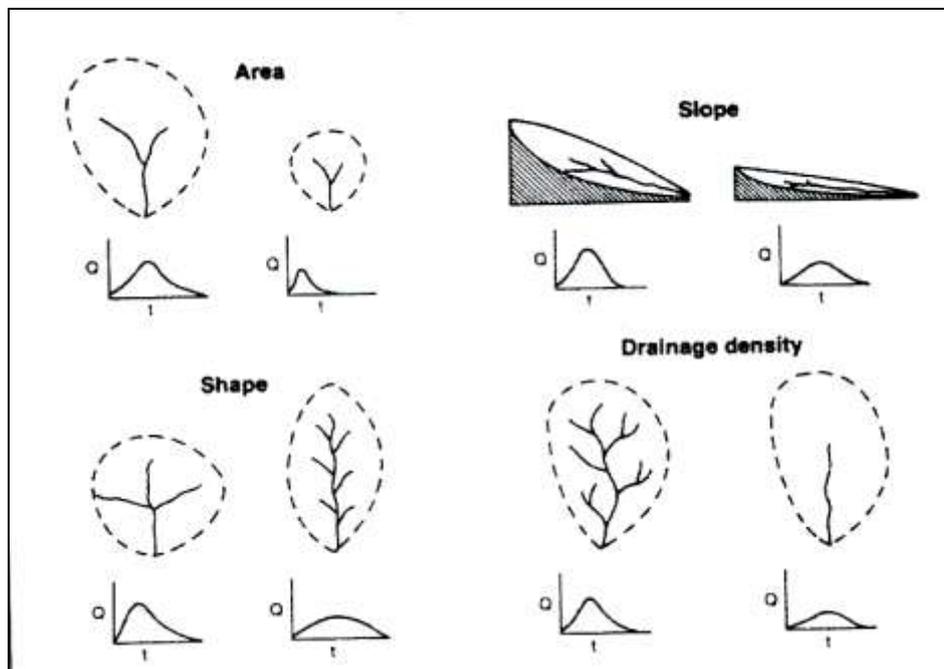
$$R_c = \frac{4\pi A}{p^2}$$

Bentuk daerah aliran sungai secara umum dibagi menjadi dua yaitu bentuk DAS membulat ($R_c < 0,5$) dan bentuk DAS memanjang ($R_c > 0,5$). Bentuk yang membulat menunjukkan aliran yang cepat dengan puncak luah yang tinggi, sedangkan bentuknya yang memanjang menunjukkan aliran yang lebih lambat karena jarak tempuh semakin panjang (Gregory, 1973:271).

1.2.3. Pola Kerapatan Aliran

Pola kerapatan aliran merupakan susunan alur-alur sungai dalam suatu daerah aliran sungai (Leepold, 1964: 131). Berdasarkan strukturnya setiap aliran sungai selalu dihubungkan oleh jaringan satu arah dimana cabang dan anak sungai mengalir ke dalam sungai induk yang lebih besar dan membentuk pola tertentu. Pola aliran sungai tergantung dari kondisi topografi, geologi, iklim, vegetasi yang terdapat didalam daerah pengaliran. Berikut ini dijelaskan tentang berbagai macam pola aliran sungai

1. *Dendritik*: pola aliran sungai yang menyerupai bentuk pohon. Pola aliran ini terdapat sungai induk dengan anak-anak sungainya. Umumnya terdapat di daerah dengan batuan sejenis dan penyebarannya luas. Contoh sungai yang terdapat di daerah Sumatera bagian timur dan Kalimantan.



Gambar 1.2. Bentuk DAS dan Grafik Hidrograf Aliran

2. *Trellis*: pola aliran sungai dimana sungai induk dengan anak-anak sungai membentuk sudut tegak lurus. biasanya dijumpai di daerah dengan struktur batuan sedimen di daerah lipatan. Misal sungai di pegunungan lipatan Sumatera Barat dan Jawa Tengah.
3. *Parallel*: pola aliran sungai yang hampir sejajar antara sungai satu dengan lainnya
4. *Radial*: pola aliran sungai yang arahnya menyebar dari suatu lokasi tertentu. Ciri khas pola aliran di kerucut vulkan. Kebalikannya adalah pola aliran sentripetal : yaitu pola aliran sungai yang arahnya menuju ke satu lokasi tertentu. Pola sentripetal merupakan ciri khas di daerah cekungan (danau). Pola ini biasanya dijumpai di daerah lereng gunung api atau daerah dengan topografi kubah, misal sungai di lereng gunung Semeru dan Gunung Ijen Jawa Timur, Gunung Merapi di Daerah Istimewa Yogyakarta, Gunung Slamet di Jawa Tengah.

5. *Sink Holes (Rektanguler)*: pola aliran sungai di daerah kapur. Tiba-tiba terdapat aliran sungai yang menghilang ke dalam tanah. Misal Sungai di daerah Gunungkidul Daerah Istimewa Yogyakarta.
6. *Dikotomik*: pola aliran dimana terdapat dua sungai yang arah alirannya saling berlawanan
7. *Anastomotic*: pola aliran yang berliku-liku (meander)
8. *Barbed*: pola aliran sungai yang diselang-seling adanya danau.

Pada pola aliran dendritik dapat diperkirakan DAS tersebut mempunyai aliran relatif lambat dan mempunyai pengatusan tinggi. Selain pola aliran kerapatan diberi notasi Dd yaitu merupakan perbandingan antara jumlah panjang seluruh aliran sungai (dalam mil) dengan luas DAS (dalam mil²), berpengaruh terhadap tingkat pengatusan (Linsley, 1949).

Nilai Dd 1, berarti daerah aliran sungai sering mengalami penggenangan, Dd antara 1 dan 5, menunjukkan bahwa daerah penelitian dalam kondisi sedang atau normal, sedangkan untuk Dd 5, menunjukkan bahwa daerah aliran sungai mempunyai tingkat pengatusan tinggi. Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung besar kerapatan pengatusan adalah:

$$Dd = \frac{\sum L}{A}$$

Keterangan: Dd = indek kerapatan sungai (km/km²)
 L = jumlah panjang sungai termasuk anak-anak sungainya (km)
 A = luas DAS (km²)

1.2.4. Orde Percabangan Sungai

Menurut Suzuki dan Shimano (1982), jumlah orde sungai pertama sangat dipengaruhi oleh panjang minimum orde sungai pertama dan skala peta, serta musim. Pada musim hujan panjang dan jumlah orde sungai bertambah. Sebaliknya pada musim kemarau, jumlah dan panjang orde sungai pertama akan berkurang, bahkan orde sungai pertama pada musim kemarau merupakan orde sungai kedua pada musim penghujan akibat tidak adanya aliran pada orde sungai pertama.

Perhitungan jumlah orde sungai pertama pada musim kemarau dibutuhkan data dan informasi nyata di lapangan (Suzuki dan Shimano, 1982). Kalau terdapat keterbatasan data dan informasi nyata dilapangan, maka perhitungan orde sungai pertama dapat ditentukan berdasarkan pada peta topografi.

Tingkat percabangan sungai (*bifurcation ratio*) merupakan perbandingan antara jumlah orde sungai ke u dengan jumlah orde sungai ke $u + 1$ (Horton, 1932 dalam Seyhan, 1977). Untuk menghitung tingkat percabangan sungai dilakukan dengan rata-rata tertimbang dengan persamaan sebagai berikut (Seyhan, 1977). Rumus yang digunakan:

$$WRb = \frac{\sum_{u=1}^{u=k} Rb_{u/u+1} (N_u + N_{u+1})}{u = k_{N_u}}$$

$$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

Keterangan:

- WRb = Rata-rata tingkat percabangan sungai
- K = Orde sungai tertinggi
- $Rb_{u/u+1}$ = Tingkat percabangan antara orde alur ke u dan orde alur ke $u+1$
- N_u = Jumlah keseluruhan alur orde ke u
- N_{u+1} = Jumlah keseluruhan alur ke $u+1$
- Rb = Tingkat percabangan sungai
- N_u = Jumlah keseluruhan alur orde ke u
- N_{u+1} = Jumlah keseluruhan alur sungai orde ke $u+1$

1.2.5. Panjang Dan Gradien Sungai Utama

Sungai utama ditentukan oleh sungai terpanjang dengan derajat belokan cabang sungai lebih kecil dibanding sungai lain. Sungai utama pada daerah aliran sungai merupakan alur sungai yang mengalir dari keluaran (outlet) sampai batas daerah aliran sungai (Seyhan, 1977). Gradien sungai utama merupakan beda tinggi antara hulu sungai (titik tertinggi) dengan bagian hilir (titik terendah) sungai dibagi dengan panjang sungai utama (Seyhan, 1977). Informasi ini sangat penting dan diperlukan dalam mempelajari potensi tenaga listrik hidro. Gradien sungai dihitung berdasarkan kemiringan rata-rata, dengan persamaan (Institution Australian 1977). Rumus yang digunakan:

$$\bar{S} = \frac{(Li \cdot Si)^2}{Li}$$

- Keterangan :
- \bar{S} = Kemiringan rata-rata sungai utama (m/km)
 - Li = Panjang sungai utama pada segmen I (km)
 - Si = Kemiringan sungai utama pada segmen I (m/km)

Seyhan (1977) dalam Jingga (2003) mengemukakan karakteristik DAS dikelompokkan menjadi dua kategori yaitu faktor lahan (*ground factors*), meliputi topografi, tanah, geologi, geomorfologi dan faktor vegetasi dan penggunaan lahan. Topografi permukaan atau bentuk lahan mempengaruhi aliran permukaan (*runoff*) dan aliran bumi. Vegetasi dan penggunaan lahan memegang peranan dalam proses hidrologi suatu DAS yaitu curah hujan yang jatuh dan mengalirkan air yang terabsorpsi oleh akarnya. Vegetasi dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan aliran air selama musim kemarau sehingga dapat merubah debit aliran air untuk irigasi pada saat-saat yang kritis (Asdak, 1995).

DAS dapat dianggap sebagai suatu ekosistem. Soemarwoto (1982) dalam Asdak (1995) menyatakan bahwa komponen ekosistem DAS bagian hulu pada umumnya dapat dipandang sebagai suatu ekosistem pedesaan. Ekosistem DAS terdiri atas empat komponen utama, yaitu desa, sawah/ladang, sungai, dan hutan. Hutan merupakan salah satu bentuk penutupan lahan yang dianggap dapat dipandang sebagai pengatur aliran sungai (*streamflow regulator*), yang artinya hutan dapat menyimpan air selama musim hujan dan melepaskan air pada musim kemarau. Penggunaan vegetasi, khususnya vegetasi hutan telah lama dipercayai dapat mempengaruhi waktu dan penyebaran aliran air atau debit (Asdak, 1995). Aktifitas tata guna lahan dapat memberikan akibat nyata pada volume aliran air dan waktu tercapainya debit puncak sebagai respon DAS terhadap curah hujan pada titik awal (Asdak, 1995). Faktor vegetasi dan penutup lahan ditetapkan berdasarkan persentase luas penutupan lahan terhadap luas DAS, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$PL_i = \frac{LPL_i}{A}$$

dimana : PL_i = persentase luas penutupan lahan ke-1 (%)
 LPL_i = luas penutupan lahan ke-1 (km^2)
 A = luas DAS (km^2)

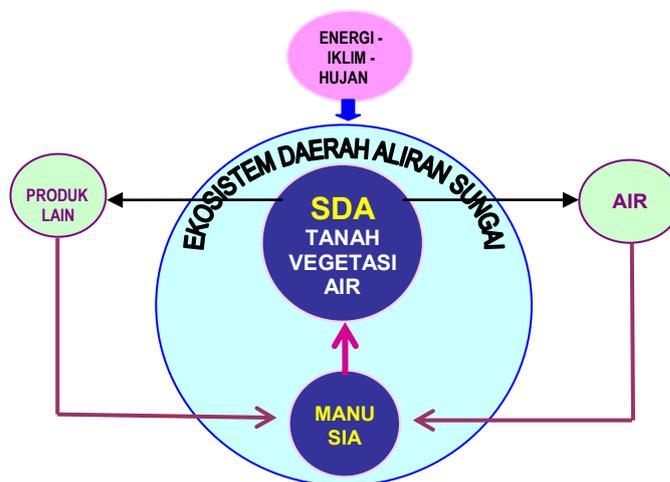
1.3. Sistem Hidrologi dalam Pengelolaan DAS

Seperti dikemukakan diatas, daerah aliran sungai adalah unit hidrologi. Siklus hidrologi pada daerah aliran sungai merupakan sistem hidrologi dipengaruhi oleh peubah klimatologi terutama masukan presipitasi, dengan keluaran limpasan dan evapotranspirasi, dipengaruhi peubah fisik permukaan lahan dan peubah proses.

Setiap proses siklus hidrologi dalam suatu DAS mencerminkan adanya pergerakan air atau tata air di dalam wilayah DAS tersebut.

Selain merupakan wilayah tata air, DAS juga merupakan suatu ekosistem, disebut sebagai Ekosistem DAS (disajikan pada Gambar 1.2). Unsur-unsur yang terdapat di dalam DAS meliputi sumberdaya alam dan manusia. Sumberdaya alam bertindak sebagai obyek terdiri dari tanah, vegetasi, dan air, sedangkan unsur manusia sebagai subyek atau pelaku pendayagunaan dari unsur-unsur sumberdaya alam. Antara unsur-unsur tersebut terjadi proses hubungan timbal balik dan saling mempengaruhi, dalam sumberdaya alam antara tanah, air, dan vegetasi saling terkait sehingga menghasilkan suatu produk tertentu dan kondisi air tertentu yang pada akhirnya berpengaruh pada kehidupan manusia. Dipihak lain manusia sebagai pelaku pendayagunaan sumberdaya alam banyak melakukan aksi atau perubahan-pengubahan pada tanah dan vegetasi, sehingga bereaksi pada hasil produk, perilaku maupun hasil air.

Terdapat satu unsur di luar DAS yang mempengaruhi kondisi di dalam DAS, sebagai masukan DAS yaitu energi atau iklim. Variasi dan distribusi dari energi dan iklim berpengaruh pada kondisi temperatur, curah hujan, kelembaban, radiasi matahari, angin, dan sebagainya dari ekosistem DAS.



Gambar 1.2. Diagram Ekosistem Daerah Aliran Sungai

Unsur air, vegetasi, tanah, dan manusia harus berkesinambungan, sehingga dapat memberikan manfaat sebesar-besarnya bagi manusia. Keseimbangan ini menyangkut antar berbagai kepentingan baik pada masa kini maupun akan datang, meliputi kepentingan ekologi, ekonomi, produksi, dan kelestarian lingkungan.

Adanya ketidakseimbangan dapat mengakibatkan ekosistem DAS sebagai sumber malapetaka seperti banjir, erosi, dan lain-lain.

Hasil akhir proses hubungan timbal balik dan saling mempengaruhi tersebut berupa kondisi hidroorologis wilayah DAS. Menurut Soerianegara (1978) pencerminan atau ukuran kondisi hidroorologis ditentukan dari kemampuan penyediaan air, baik dilihat dari segi kualitas maupun kuantitas dan distribusi menurut waktu. Kondisi hidroorologis yang baik adalah apabila DAS dapat menjamin penyediaan air dengan kualitas yang baik, kuantitas yang cukup dan distribusi debit yang merata sepanjang tahun.

Salah satu cara mengetahui apakah pengelolaan DAS di suatu tempat sudah berlangsung baik, dapat diketahui dari analisis ketersediaan air. Ketersediaan air adalah jumlah air yang diperkirakan terus-menerus ada dalam sungai dengan jumlah tertentu dalam jangka waktu atau periode tertentu. Komponen ketersediaan air meliputi curah hujan, intersepsi, infiltrasi, perkolasi, evapotranspirasi, dan air limpasan (Nianggolan, 1992). Ketersediaan air DAS mencerminkan proses pergerakan air yang berlangsung secara tetap, dapat dideteksi dan didekati dengan beberapa persamaan matematik yang mencerminkan proses pengalihragaman hujan menjadi aliran sungai.

Menurut Sri Harto (1993) dalam penyusunan model hidrologi titik berat analisis dipusatkan pada proses pengalihragaman hujan menjadi debit melalui sistem DAS. Semua komponen yang berpengaruh dalam proses ini perlu diamati dan ditelaah dengan cermat. Pada keadaan tersebut selalu terjadi keseimbangan antara jumlah masukan, keluaran dan perubahan kandungan air dalam sistem. Hal tersebut dapat disajikan dalam persamaan sederhana berikut ini (Viessman, et al, 1977). Persamaan ini merupakan persamaan dasar yang dapat digunakan untuk landasan bagi semua analisis dalam sistem hidrologi.

$$I - Q = \Delta s / \Delta t$$

Keterangan:

- I sebagai masukan (inflow),
- O sebagai keluaran (outflow), dan
- $\Delta s/t$ perubahan tampungan per unit waktu.

Secara umum, dikatakan sistem apabila setiap kejadian mempengaruhi kejadian lainnya dari suatu proses. Sistem dapat diartikan sebagai suatu interaksi secara reguler dimana berbagai komponen saling mempengaruhi

dan membentuk suatu kesatuan (Haan et al, 1982). Soerianegara (1978) mengatakan bahwa jika dibandingkan dengan penelitian secara eksperimen biasa, penelitian menggunakan analisis sistem mempunyai banyak kelebihan antara lain:

1. dengan sistem dapat dilakukan eksperimentasi terhadap suatu sistem atau ekosistem tanpa mengadakan perlakuan terhadap sistem yang diteliti,
2. analisis sistem dapat digunakan untuk menciptakan sistem baru yang diduga akan lebih baik dari keadaan sistem yang diteliti,
3. dengan analisis sistem dapat dilakukan penelitian bersifat interdisiplin dan terintegrasi, seringkali tidak mungkin dilakukan seperti keadaan sebenarnya,
4. dari segi efisiensi dan kelayakan, analisis sistem dapat dilakukan dalam waktu yang singkat, dengan biaya relatif murah dengan hasil meyakinkan.

Analisis sistem adalah metode, teknik, atau alat ilmiah berguna untuk menyelesaikan persoalan yang berkaitan dengan perilaku sistem, sehingga diperoleh penyelesaian optimum. Menurut Soerianegara (1978) pengertian analisis sistem, khususnya dalam perencanaan dan pengelolaan sumberdaya alam adalah pengkajian suatu sistem dengan menggunakan azas metode ilmiah, sehingga dapat dibentuk konsepsi dan model yang dapat digunakan sebagai dasar pengelolaan untuk mengadakan perubahan-perubahan struktur dan metode serta untuk menentukan strategi kebijakan.

Pada dasarnya peubah DAS (*watershed variables*) yang ada kaitannya dengan proses hidrologi DAS dapat dikategorikan (dalam Seyhan, 1977) sebagai peubah klimatologis, peubah fisik permukaan lahan, peubah keluaran (*output variables*), dan peubah proses.

1. Peubah Klimatologis

Peubah klimatologis terpenting dalam proses hidrologi pada DAS meliputi presipitasi, peubah kedua adalah evapotranspirasi. Kedua peubah dipengaruhi peubah meteorologik seperti suhu udara (juga suhu air dan suhu tanah), kelengasan, tekanan uap air, keawanan, tekanan udara, kecepatan dan arah angin, rasiasi matahari, dan lain-lain.

Peubah presipitasi merupakan peubah terpenting dalam DAS, dan peubah yang sulit dipilih dalam penentuan hubungan antara presipitasi dan limpasan, dengan sendirinya dipengaruhi peubah fisik permukaan lahan. Kaitannya dengan

hubungan presipitasi dan limpasan data presipitasi perlu mendapat perhatian, disamping data lain dari presipitasi (Seyhan, 1977). Data-data tersebut meliputi:

- a. Presipitasi tahunan rerata
- b. Presipitasi bulan-basah rerata (mean wet months precipitation), yaitu rata-rata tebal hujan bulanan selama dua bulan berturut-turut atau lebih saat DAS menerima presipitasi maksimum.
- c. presipitasi bulan-basah rerata (mean dry months precipitation), yaitu rata-rata tebal hujan selama 2 bulan berturut-turut atau lebih saat DAS menerima minimum.
- d. Presipitasi debit puncak (peak discharge precipitation), yaitu rata-rata tebal hujan selama 2 bulan berturut-turut saat debit puncak teramati (terlihat dalam DAS).
- e. Intensitas hujan durasi 24 jam dengan periode ulang tertentu.

2. Peubah Fisik Permukaan Lahan

Peubah fisik permukaan lahan yang terpenting dalam proses hidrologi DAS, yang penting adalah peubah-peubah morfometri, vegetasi dan tata guna lahan, tanah. Peubah morfometri antara lain: luas DAS, luas tebat dan danau, sudut percabangan sungai, kemiringan DAS dan kemiringan sungai, perbandingan luas daerah pegunungan/perbukitan dengan luas dataran, panjang DAS, besaran DAS, relief DAS, tingkat percabangan sungai, titik berat DAS, faktor distribusi sistem saluran, kerapatan aliran, perimeter aliran, rasio terjunan, rasio frekuensi, integral hipsometrik, hukum-hukum luas sungai, panjang sungai, jumlah sungai, relief sungai, kemiringan sungai, panjang sungai dan overland flow, bentuk DAS, frekuensi sungai, orde sungai, lebar DAS dan lain-lain.

Kenampakan vegetasi dan tata guna lahan antara lain luas hutan, luas danau dan tebat, volume timbunan depresi (depression storage), timbunan saluran (channel storage), bentuk tata guna lahan.

3. Peubah keluaran

Presipitasi (masukan) dan energi (radiasi) dalam DAS akan menghasilkan keluaran dari massa, yaitu aliran sungai dan evapotranspirasi, dan energi. Telah banyak dicoba melalui berbagai metode penelitian hidrologi, untuk mencari hubungan antar curah hujan dan limpasan diantaranya yang banyak dipakai

adalah penyusunan hidrograf satuan (unit hidrograf) termasuk penerapan hidrograf satuan sintetik bagi DAS yang kurang atau tidak mempunyai stasiun pengukur. Sayangnya pemakaian metode ini terbatas, hanya baik untuk luas DAS yang terbatas.

Telah dicoba pula mengembangkan persamaan-persamaan atau rumus-rumus limpasan sebagai fungsi peubah klimatik dengan peubah fisik permukaan lahan antara lain dengan menggunakan korelasi, dalam statistik analisis faktor dan regresi.

BAB II. PERGERAKAN AIR DAN PENGELOLAAN DAS

2.1. Konsep Dasar Neraca Air

Daur hidrologi merupakan suatu sistem dinamis tertutup yang berarti tidak ada masukan ataupun keluaran air, yang ada hanya masukan energi yang mengatur perpindahan air. Daur hidrologi sebagai suatu sistem (Gambar 2), dapat dilihat dan ditelaah proses-proses yang berlangsung.

Pada prinsipnya neraca air menjelaskan banyaknya air tersimpan, dapat dihitung dari hubungan antara nilai aliran ke dalam (*inflow*) dan aliran keluar (*outflow*) di suatu daerah untuk periode tertentu. Secara umum perhitungan neraca air dirumuskan sebagai berikut:

$$P = D + E + G + M$$

Keterangan:

P = presipitasi

D = debit

E = evapotranspirasi

G = penambahan (suplai air tanah)

M = penambahan kadar kelengasan tanah

Secara alamiah tidak semua besaran peubah sistem dalam proses hidrologi dapat diukur secara langsung di lapangan. Besaran peubah sistem sebagian diperoleh dari hasil pengukuran, sebagian lagi dari hasil perhitungan dengan menggunakan rumus empiris. Konsep dasar dari model ketersediaan air ini adalah water balance atau persamaan air yang ditulis sebagai berikut:

$$AP = P - IN - ET - PE - SA$$

dimana P = curah hujan, IN = intersepsi, ET = evapotranspirasi, PE = perkolasi, AP = aliran permukaan, SA = perubahan simpanan air (Sitana, 1989; Viessman, et al, 1977). Konsep tersebut terutama digunakan untuk menghitung besar komponen aliran permukaan dan infiltrasi.

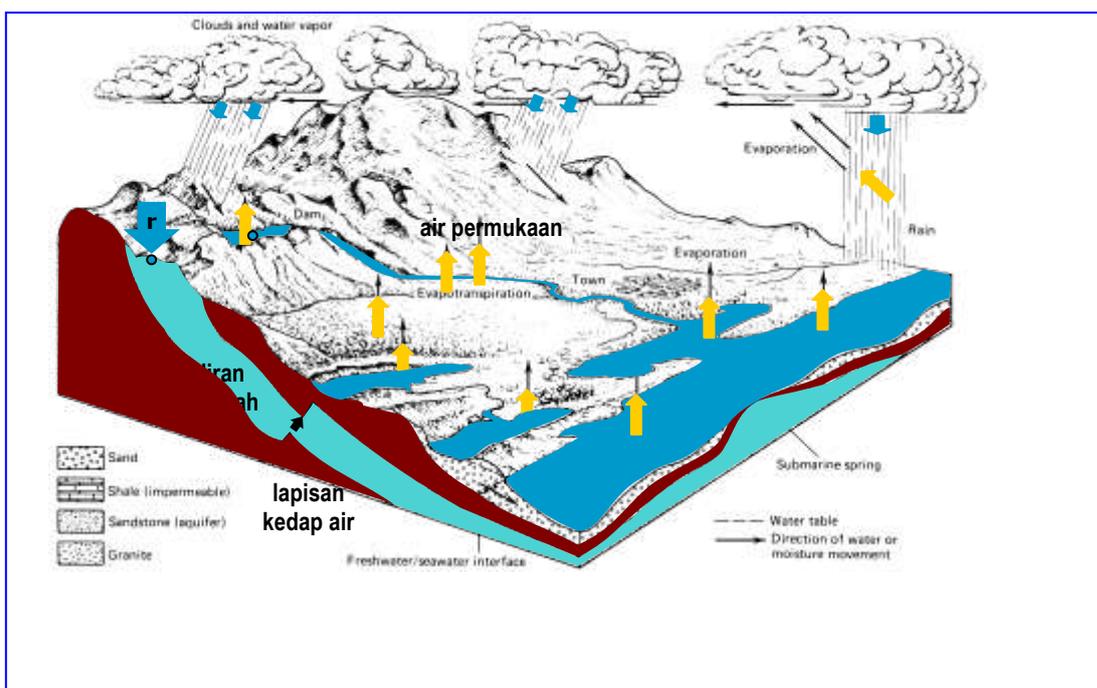
Pada pendekatan metode neraca air, data input meliputi curah hujan, suhu, luas penggunaan lahan, dan sifat fisik tanah, yang akan diterima oleh 3 komponen utama DAS yaitu vegetasi, tanah, dan sungai. Air hujan yang jatuh pada komponen vegetasi akan mengalami proses: evapotranspirasi, intersepsi oleh tajuk vegetasi, selebihnya akan mengalir dalam bentuk aliran permukaan. Air hujan yang jatuh ke tanah akan mengalami proses evaporasi oleh permukaan tanah ke udara, infiltrasi

dan perkolasi ke dalam tanah selebihnya akan mengalir dalam bentuk aliran bawah tanah ke sungai. Air hujan yang jatuh ke sungai akan mengalami proses dievaporasikan ke udara, dan mengalir sebagai aliran sungai ke sungai utama.

Terbentuknya aliran sungai oleh hujan yang jatuh dalam DAS, melalui berbagai proses cukup panjang. Mula-mula air hujan jatuh akan mengalami intersepsi, evaporasi, dan transpirasi. Sebagian air hujan yang sampai ke tanah akan terinfiltrasi dan apabila kapasitas infiltrasi telah terpenuhi akan terbentuk aliran permukaan. Air terinfiltrasi dapat bergerak horizontal kemudian keluar sebagai aliran bawah permukaan, sebagian lagi akan terus bergerak ke bawah (perkolasi) bila mencapai lapisan impermeabel akan bergerak secara horizontal sebagai aliran air tanah.

2.2. Fenomena Siklus Hidrologi DAS

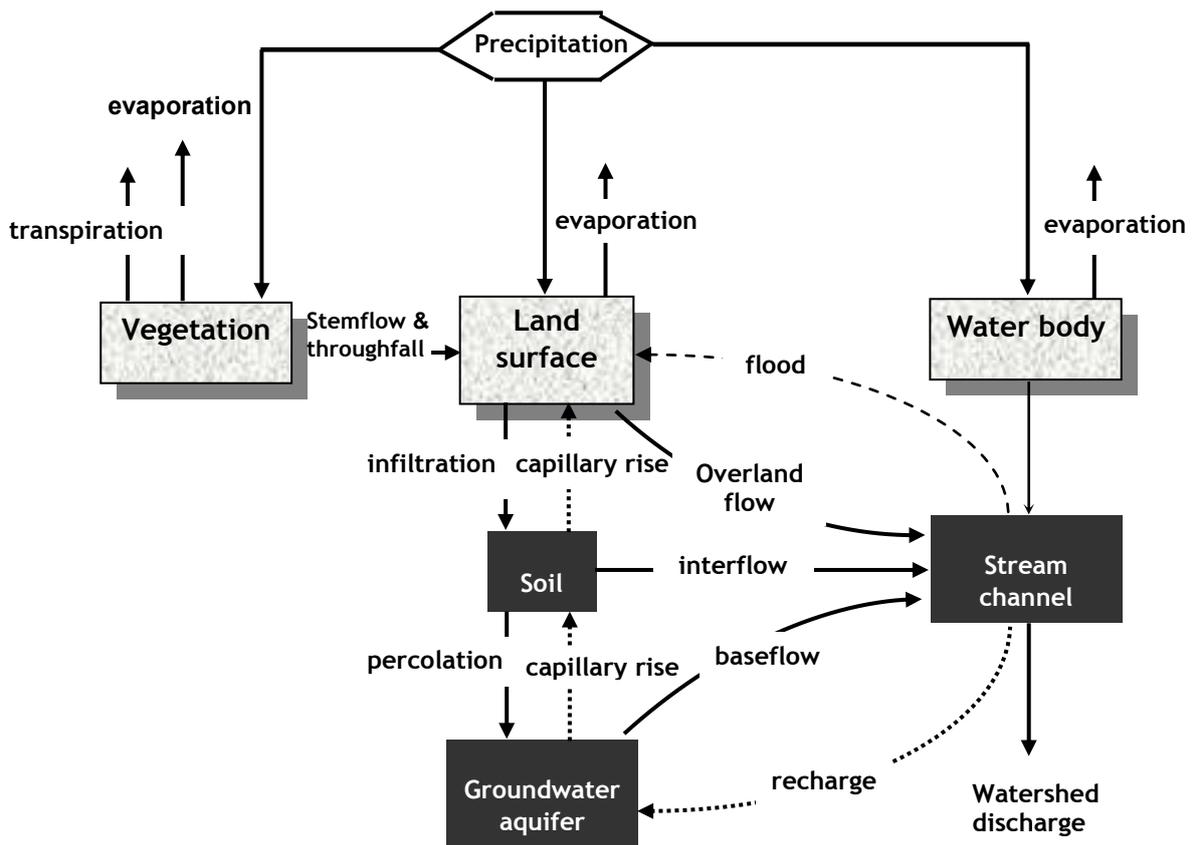
Siklus Hidrologi adalah rangkaian peristiwa yang terjadi pada air yang jatuh ke bumi sampai diuapkan kembali, kemudian jatuh ke bumi lagi (Ward, 1974). Dalam siklus hidrologi ini terdapat beberapa proses yang saling terkait yaitu meliputi proses presipitasi, evaporasi, transpirasi, intersepsi, infiltrasi, perkolasi, aliran limpasan, aliran air bawah tanah. Secara sederhana siklus hidrologi ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Siklus Hidrologi DAS

Dalam hubungannya dengan sistem hidrologi, DAS mempunyai karakteristik spesifik serta berkaitan erat dengan unsur utama seperti jenis tanah, tataguna lahan, topografi, kemiringan dan panjang lereng. Karakteristik tersebut dalam merespon curah hujan yang jatuh di tempat tersebut dapat memberikan pengaruh terhadap besar kecilnya evaporasi, infiltrasi, perkolasi, aliran permukaan, kandungan air tanah dan aliran sungai. Diantara faktor-faktor yang berperan dalam menentukan sistem hidrologi di atas, faktor tataguna lahan, kemiringan dan panjang lereng dapat direkayasa oleh manusia. Faktor-faktor lain bersifat alamiah dan tidak di bawah kontrol manusia. Dengan demikian, dalam merencanakan pengelolaan DAS, manipulasi tataguna lahan (perubahan dari pertanian menjadi hutan atau bentuk tataguna lahan lainnya) dan pengaturan kemiringan dan panjang lereng (pembuatan teras) menjadi salah satu aktifitas perencanaan (Asdak, 1998).

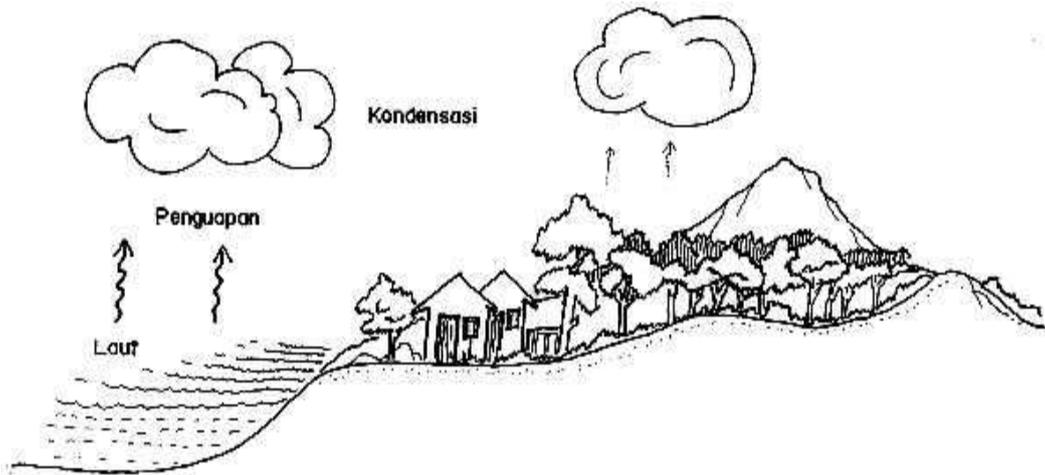
Komponen siklus hidrologi atau komponen pergerakan air atau komponen ketersediaan air meliputi: curah hujan, intersepsi, evapotranspirasi, infiltrasi, simpanan air tanah, perkolasi, aliran air permukaan, aliran air bawah tanah, aliran sungai atau debit aliran sungai. Komponen tersebut dapat diperkirakan nilainya dan dibedakan menurut jenis penggunaan lahan (hutan, sawah, tegal, kebun, dan permukiman). Dengan adanya pengubahan penggunaan lahan maka komponen ini sangat berperan dalam pengelolaan DAS. Berikut ini dijelaskan tentang komponen ketersediaan air.



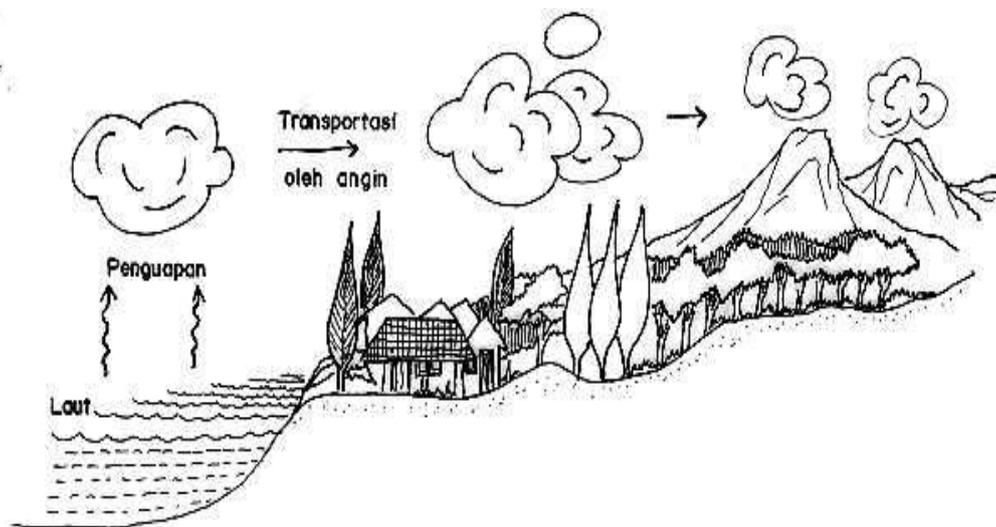
Gambar 2.2. Skema Pergerakan Air dan Komponen Siklus Hidrologi

2.2.1. Curah Hujan

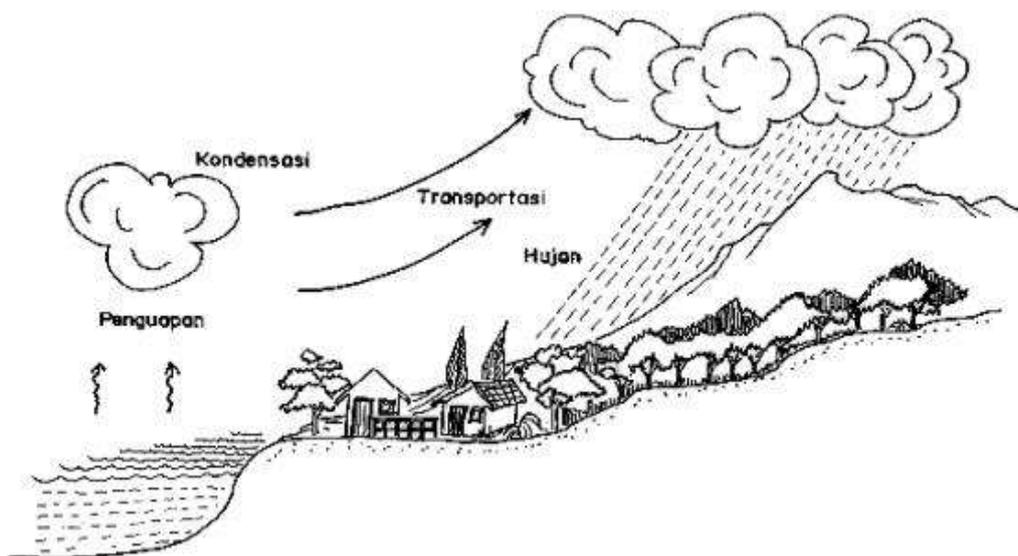
Curah hujan sebagai salah satu masukan dalam sistem DAS, merupakan bagian dari Presipitasi. Presipitasi adalah istilah digunakan untuk seluruh bentuk air yang ada di atmosfer yang turun ke bumi meliputi hujan (*rain fall*), gerimis, hujan salju, hujan es, embun, embun beku, dan kabut (Linsley et al. 1986). Hujan merupakan komponen masukan paling penting dalam proses hidrologi, karena jumlah hujan dialihragamkan menjadi aliran sungai (*runoff*) melalui aliran permukaan, aliran bawah tanah, maupun aliran air tanah. Menurut Nash (1958) dalam Haan, et al (1982) hujan dan aliran adalah saling berhubungan dalam hal: 1) hubungan antara volume hujan dengan volume aliran, 2) distribusi hujan per-waktu mempengaruhi hasil aliran, 3) frekuensi kejadian hujan mempengaruhi aliran.



Gambar 2.3. Proses Kondensasi, Penguapan dan Terbentuknya Awan



Gambar 2.4. Proses Pergerakan Awan oleh Angin



Gambar 2.5. Proses Pergerakan Awan dan Kejadian Hujan

Besaran hujan dapat dianggap sebagai hujan rata-rata yang terjadi di seluruh DAS. Untuk menghitung hujan rata-rata diperlukan sejumlah stasiun hujan yang dipasang sedemikian rupa sehingga dapat mewakili besaran hujan di DAS tersebut (Sri Harto, 1993). Perlu diperhatikan bahwa ketelitian pengukuran hujan rata-rata DAS sangat tergantung pada jumlah dan pola penyebaran stasiun hujan. Penyebaran stasiun hujan meliputi stasiun yang berada di dalam maupun di luar DAS.

Data curah hujan diperlukan untuk menyusun rancangan pemanfaatan air dan pengendalian banjir berupa curah hujan rata-rata pada seluruh DAS, bukan curah hujan pada satu stasiun tertentu. Perhitungan curah hujan rata-rata beberapa stasiun pengamatan curah hujan dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa rumus. Rumus yang digunakan antara lain: rata-rata aritmatik, poligon Thiessen, dan metode isohyet, penggunaan rumus ini disesuaikan dengan tujuan dan kelengkapan data.

2.2.2. Intersepsi

Viessman et al, (1977) memberikan batasan air intersepsi adalah merupakan bagian air hujan yang membasahi dan tertahan di atas benda-benda di permukaan bumi hingga dikembalikan ke atmosfer melalui evaporasi. Air hujan yang tertahan oleh daun tumbuhan atau rerumputan akan mengalir ke bawah melalui batang sebagai *stemflow* atau jatuh ke permukaan tanah sebagai *throughfall*.

Faktor yang mempengaruhi intersepsi menurut Kittradge (1948) dalam Kukul (1987), adalah (1) kemampuan penyimpanan air oleh permukaan daun tergantung dari jenis vegetasi, tipe hutan, dan umur vegetasi, (2) kecepatan evaporasi selama turun hujan, (3) intensitas hujan. Viessman et al (1977) menganggap bahwa jumlah air yang terintersepsi merupakan fungsi dari (1) sifat hujan, (2) spesies, umur, dan kerapatan vegetasi, (3) musim saat itu.

Pengkajian empiris menunjukkan bahwa variasi intersepsi tidak hanya terdapat di antara wilayah-wilayah klimatologi dan tipe-tipe hutan, tetapi juga disebabkan oleh kerapatan tajukan, umur tegakan dan posisi relatif terhadap batang-batang pohon suatu tegakan (Lee, 1980). Semakin rapat dan semakin tua umur suatu vegetasi maka semakin besar air hujan yang terintersepsi. Jadi dapat dikatakan bahwa hutan atau kebun dengan vegetasi yang rapat dengan pohon

besar, mempunyai intersepsi besar, jumlah vegetasi yang bermacam-macam akan menghasilkan intersepsi yang bervariasi.

Di hutan-hutan di wilayah ASEAN, intersepsi mencapai kurang-lebih 30% dari jumlah hujan rata-rata tahunan. Tidak semua air hujan yang sampai di tajuk hutan menguap, tetapi air akan menetes melalui daun dan turun mengalir melalui batang sebagai *stemflow* dan akhirnya menetes jatuh ke permukaan tanah sebagai *throughfall* (Flliott, 1990).

Beberapa rumus dan pendekatan empiris untuk memperkirakan intersepsi telah dikembangkan, antara lain Ward (1975) mengembangkan cara penetapan intersepsi dengan persamaan kontinuitas sebagai berikut:

$$I_s = R - TF - SF$$

Dimana I_s adalah intersepsi, R adalah curah hujan, TF adalah lolosan tajuk, dan SF adalah aliran batang. Gash (1979) dalam Arsyad (1989) mengembangkan model regresi linear sebagai berikut:

$$I = a P_g + b$$

Dimana I adalah intersepsi, P_g adalah hujan yang jatuh di atas tajuk daun, a adalah koefisien regresi dan b adalah konstanta.

2.2.3. Evapotranspirasi

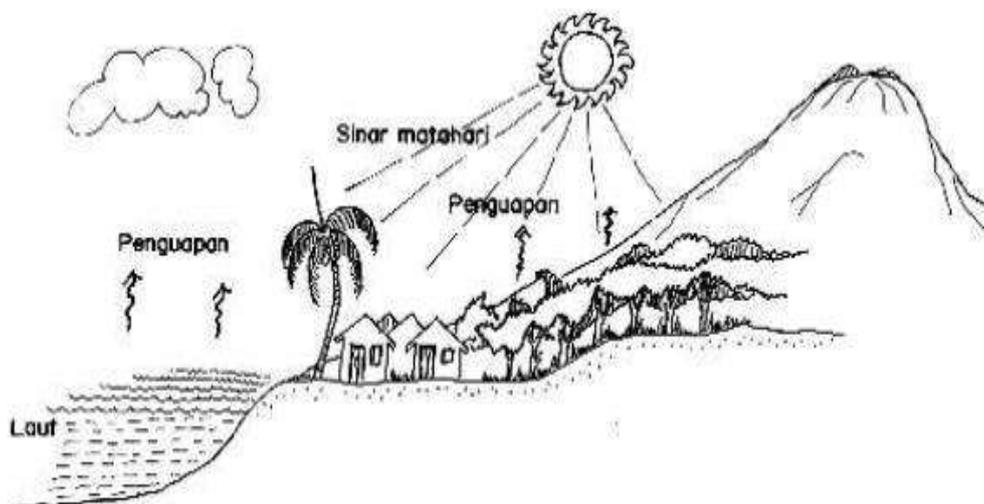
Evapotranspirasi berasal dari gabungan istilah evaporasi dan transpirasi. Evaporasi adalah peristiwa berubahnya air menjadi uap dan bergerak dari permukaan tanah dan permukaan air, sedangkan transpirasi adalah peristiwa berubahnya air menjadi uap dan bergerak dari permukaan vegetasi.

Semua uap air ini akan bergerak ke atas dan masuk ke atmosfer (Schwab et al, 1981; Suyono, 1984).

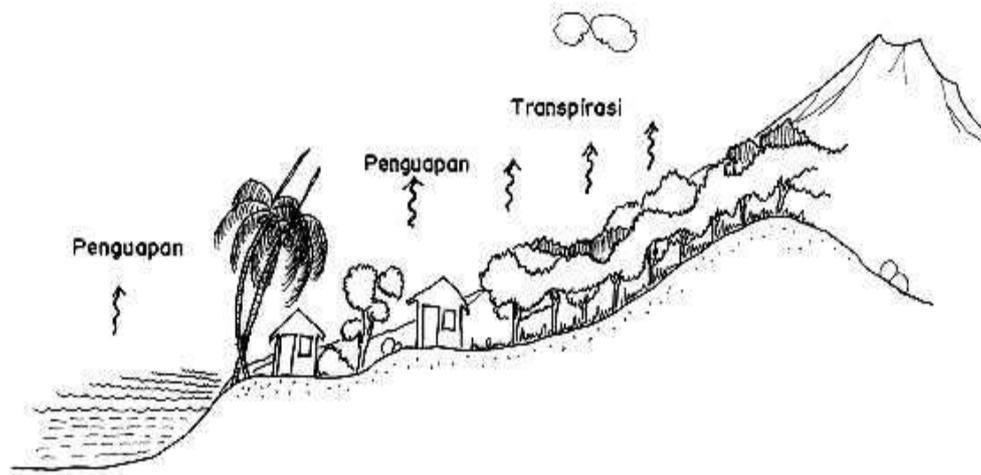
Evapotranspirasi sebagai salah satu proses dalam siklus hidrologi, selain dipengaruhi oleh faktor iklim juga dipengaruhi oleh faktor tanah dan vegetasi yang tumbuh di atasnya. Daerah yang tertutup dengan vegetasi yang berbeda akan mempunyai evapotranspirasi yang berbeda pula. Pengaruh vegetasi terhadap evapotranspirasi sering dinyatakan dengan koefisien tanaman. Shaw (1989) mengatakan bahwa evapotranspirasi potensial setiap tanaman merupakan perkalian antara evapotranspirasi dengan koefisien masing-masing tanaman.

Evapotranspirasi disebut kebutuhan air (*consumptive use*). Jika air yang tersedia dalam tanah cukup banyak maka disebut evapotranspirasi potensial. ILRI (1973) membedakan dua istilah dalam evapotranspirasi yaitu: evapotranspirasi potensial, adalah jumlah air yang diuapkan dalam jangka waktu tertentu oleh tumbuhan yang menutup permukaan tanah dalam keadaan persediaan air dalam tanah cukup banyak. Evapotranspirasi aktual adalah evapotranspirasi yang terjadi pada keadaan tanah tidak terlalu jenuh air dan permukaan tanah tidak tertutup rapat.

Menurut Viessman (1977), berbagai metode pengukuran maupun pendugaan evapotranspirasi telah dibuat ahli tetapi tidak satupun secara umum dapat digunakan pada semua kondisi. Pada dasarnya terdapat tiga pendekatan yaitu (1) Teoritis didasarkan pada fisik dari prosesnya, (2) Analitik didasarkan pada energy budget atau water budget, (3) Empiris. Schwab (1989) membagi dasar metode untuk menduga evapotranspirasi menjadi 3: (1) Pemindahan massa, misalnya metode Thornthwaite dan Holzman, (2) Neraca energi, misal metode Penman (1956), (3) Metode empirik, misal metode Thornthwaite. Oleh sebab itu, menghitung evapotranspirasi, harus benar-benar disesuaikan dengan kondisi daerah, data yang tersedia, dan tujuan penggunaannya.



Gambar 2.6. Proses Penguapan dan Panas Sinar Matahari



Gambar 2.7. Proses Evapotranspirasi, Penguapan dan Transpirasi

Evapotranspirasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, maka sulit untuk menghitung dengan menggunakan satu rumus. Kesulitan ini telah mendorong orang untuk mengemukakan banyak rumus. Linsley (1986) mengatakan ada beberapa pendekatan empirik yang telah dikembangkan untuk menghitung evapotranspirasi potensial antara lain:

- a. Thorthwaite: menurunkan prosedur pengukuran evapotranspirasi potensial yang hanya menggunakan data temperatur dan posisi tempat di permukaan bumi lintang;
- b. Blaney: melibatkan faktor suhu, penyinaran matahari, dan faktor tanaman, dirancang terutama untuk memperkirakan kebutuhan air pada daerah irigasi;
- c. Lowry dan Johnson: dengan menggunakan data rata-rata suhu dan sinar matahari, terdapat korelasi yang tinggi antara kebutuhan air dan hari derajat terakumulasi selama masa pertumbuhan;
- d. Penman: menggunakan data suhu, kelembaban, kecepatan angin, tekanan udara, radiasi matahari. Penman merupakan metode yang paling mengena karena perhitungannya didasarkan pada faktor iklim yang lebih lengkap.

2.2.4. Infiltrasi

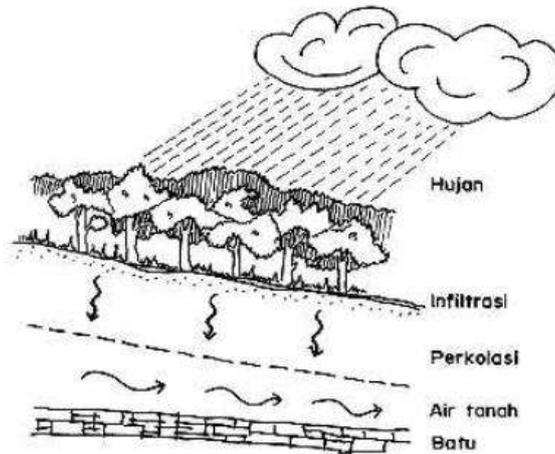
Infiltrasi merupakan proses masuknya air hujan ke dalam lapisan permukaan tanah secara vertikal. Proses ini sangat penting karena laju infiltrasi akan menentukan besarnya limpasan yang mengalir di atas permukaan tanah selama

terjadinya hujan (Liesnoor, 1996). Air hujan yang masuk ke dalam tanah dalam batas tertentu, bersifat mengendalikan ketersediaan air untuk berlangsungnya proses evapotranspirasi. Nilai infiltrasi dalam beberapa hal tertentu berubah-ubah sesuai dengan intensitas curah hujan yang terjadi, akan tetapi setelah mencapai batas tertentu, kecepatan infiltrasi akan tetap sesuai dengan kondisi tanahnya. Kecepatan infiltrasi yang berubah-ubah sesuai dengan variasi intensitas hujan disebut laju infiltrasi dan laju infiltrasi maksimum yang terjadi pada kondisi tertentu disebut kapasitas infiltrasi.

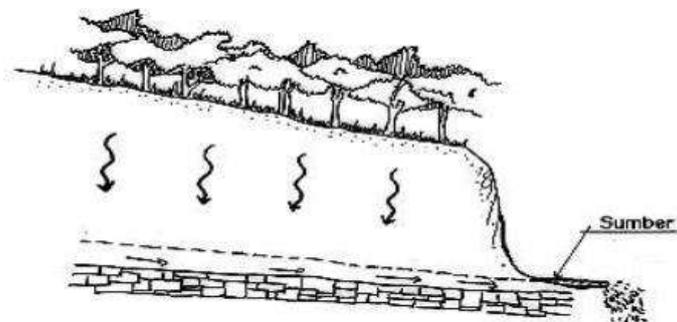
Proses infiltrasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain tekstur dan struktur tanah, persediaan air awal atau kelembaban awal, kegiatan biologi dan unsur organik, jenis dan kedalaman serasah, tumbuhan bawah atau tajuk penutup lainnya. Perkolasi adalah peristiwa Bergeraknya air ke bawah bagian profil tanah atau pergerakan air ke bawah di bawah daerah perakaran tanaman yang normal. Air yang diperkolasi berasal dari air infiltrasi (Arsyad, 1982). Infiltrasi dan kemampuan tanah menahan air, meningkatnya kepadatan dan kebutuhan penetrasi tanah, struktur tanah, yang pada akhirnya menyebabkan memburuknya pertumbuhan tanaman dan menurunnya produktivitas. Lapisan tanah setebal 15 sampai 30 cm mempunyai sifat kimia dan fisik yang lebih baik dari lapisan lebih bawah (Arsyad, 1989).

Lebih lanjut Arsyad (1989) mengatakan bahwa sifat-sifat tanah yang menentukan dan membatasi kapasitas infiltrasi adalah struktur tanah yang sebagian ditentukan oleh tekstur dan kandungan air. Laju infiltrasi terbesar terjadi pada kandungan air yang rendah dan sedang. Makin tinggi kadar air hingga keadaan jenuh air, maka laju infiltrasi menurun hingga mencapai minimum dan konstan.

Sifat fisik tanah yang paling menentukan berpengaruh langsung maupun tidak langsung terhadap pengaliran air dan erosi pada suatu DAS adalah tekstur, kedalaman tanah, bahan organik, lengas tanah, kandungan air tanah, permeabilitas (Jamulya dkk, 1983; Sanchez, 1992; Fak. Kehutanan, 1992).



Gambar 2.8. Infiltrasi dan Perkolasi



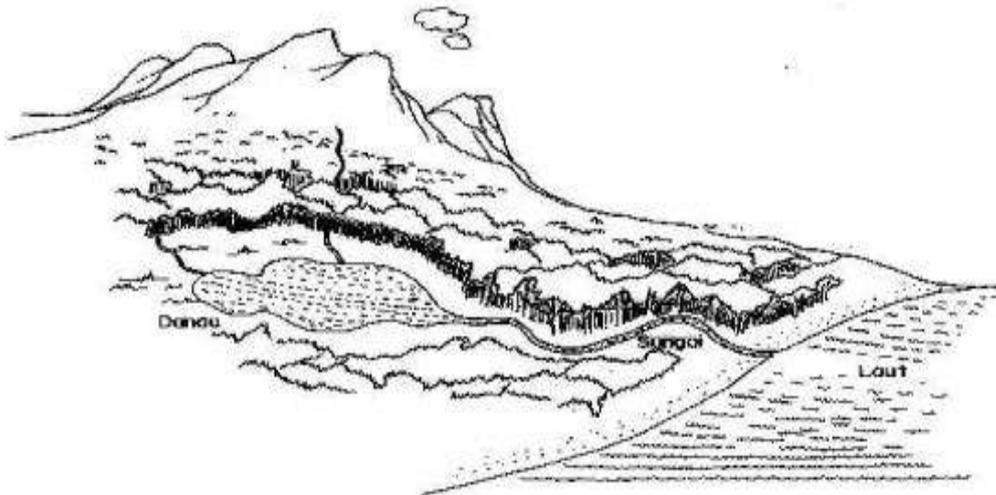
Gambar 2.9. Terbentuknya Sumber Air di Alam

2.2.5. Limpasan (Runoff)

Aliran sungai merupakan air yang mengalir di dalam sungai, berasal dari aliran permukaan, aliran bawah permukaan dan aliran air tanah. Aliran permukaan adalah air yang mengalir di atas permukaan tanah menuju ke saluran. Saluran yang dimaksud adalah sebaran depresi yang dapat menyalurkan air dalam aliran turbulen selama hujan atau beberapa saat setelah hujan. Jumlah aliran permukaan kecil, apabila hujan tidak melebihi kapasitas infiltrasi. Aliran permukaan akan penting sebagai faktor dalam aliran sungai saat terjadi hujan lebat dengan intensitas tinggi. Beasley (1972) mengatakan bahwa sebelum aliran permukaan terjadi, jumlah hujan dalam keadaan lebih dari jumlah air yang dibutuhkan untuk evapotranspirasi, infiltrasi, intersepsi, simpanan depresi dan cadangan depresi. Jumlah yang diintersepsi dan diuapkan selama hujan turun yang cukup lama sangat dekat, sehingga berpengaruh kecil dalam mempengaruhi jumlah aliran

permukaan. Pada sisi lain hujan yang kecil hampir semuanya diintersepsi oleh vegetasi yang lebat (Kukuh, 1987).

Faktor yang mempengaruhi agihan waktu limpasan terbagi menjadi 3 faktor yaitu faktor meteorologi terdiri dari tipe intensitas, lama dan agihan presipitasi, suhu, kelembaban, radiasi matahari, kecepatan angin, dan tekanan udara. Faktor kedua adalah faktor DAS berupa bentuk DAS, kemiringan DAS, geologi, tipe tanah, vegetasi dan jaringan drainage. Faktor ketiga adalah faktor manusia (Seyhan, 1977).



Gambar 2.10. Proses Aliran Air Permukaan

Aliran air bawah tanah adalah air bawah tanah yang bergerak menuju saluran secara lateral dan lambat melalui daerah yang jenuh air. Biasanya air ini dapat mencapai saluran setelah beberapa hari atau beberapa minggu bahkan sampai beberapa bulan (Ward, 1974). Aliran ini berasal dari bagian hujan yang diperkolasikan menuju air bawah tanah dan bila permukaan air bawah tanah memotong saluran sungai dalam DAS. Sumbangan air bawah tanah terhadap aliran sungai kecil dan tidak mengakibatkan berfluktuasinya aliran sungai secara cepat.

Limpasan atau *runoff* adalah semua air mengalir di atas permukaan lahan, berupa air belum memiliki arah aliran secara pasti (berupa limpasan laminar), maupun yang membentuk aliran sungai. Pada prinsipnya limpasan bergerak dari daerah hulu menuju hilir dan akan meninggalkan daerah aliran sungai (DAS) di titik pelepasannya (*out-let*). Limpasan sungai merupakan gabungan antara aliran permukaan (*surface flow*), aliran air bawah permukaan (*sub surface flow*), dan aliran air tanah (*ground water flow* atau *base flow*). Besarnya limpasan yang dihasilkan

sungai tergantung dari karakteristik hujan (intensitas dan distribusi hujan), morfometri DAS (kemiringan lereng, bentuk dan luas DAS), jenis tanah (struktur dan tekstut tanah), serta bentuk penggunaan lahan.

2.3. Pengelolaan DAS

Pengelolaan DAS adalah upaya dibalik manusia di dalam mengendalikan hubungan timbal balik antara sumberdaya alam dengan manusia dan segala aktivitasnya, dengan tujuan membina kelestarian dan keserasian ekosistem serta meningkatkan kemanfaatan sumberdaya alam bagi manusia.

Pengelolaan DAS merupakan upaya terpadu melibatkan beberapa disiplin ilmu, bekerja secara multidisiplin dalam pengendalian dan pengembangan sumberdaya dengan masukan manajemen dan teknologi untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Pengelolaan DAS meliputi pengelolaan sumberdaya air, pengelolaan lahan, pengelolaan sumberdaya lahan, pengelolaan sumberdaya vegetasi/hutan, dan pembinaan sumberdaya manusia atau masyarakat. Upaya yang dilakukan dalam pengelolaan DAS diarahkan pada penataan, pengendalian, pemulihan, pemeliharaan, pengawasan, pemanfaatan, dan pengembangan untuk menuju pembangunan berwawasan lingkungan dan berkelanjutan (Gunawan, 2003).

Pengelolaan DAS tidak selalu memberikan penyelesaian secara menyeluruh atas konflik yang timbul sebagai konsekuensi percepatan pertumbuhan ekonomi dengan usaha-usaha perlindungan lingkungan. Akan tetapi dapat memberikan suatu kerangka kerja praktis dan logis, menunjukkan mekanisme kerja yang jelas untuk penyelesaian permasalahan kompleks oleh adanya kegiatan pembangunan menggunakan sumberdaya alam sebagai input. Pelaksanaan pengelolaan DAS bertumpu pada aktivitas-aktivitas berdimensi biofisik seperti pengendalian erosi, penghutanan kembali lahan-lahan kritis, pengelolaan lahan pertanian konservatif, serta berdimensi kelembagaan seperti insentif dan peraturan-peraturan yang berkaitan dengan bidang ekonomi. Dimensi sosial dalam pengelolaan DAS lebih diarahkan pada pemahaman kondisi sosial budaya setempat dan menggunakan kondisi tersebut sebagai pertimbangan untuk merencanakan strategi aktivitas pengelolaan DAS yang berdaya guna tinggi serta efektif.

Berbagai pendekatan tersebut di atas, telah menggeser konsep arah Pengelolaan DAS dari yang klasik menuju modern, seperti disajikan pada tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1. Perbandingan arah Pengelolaan DAS secara Klasik dan Modern.

No	Pengelolaan secara Klasik	Pengelolaan secara Modern
1	Perencanaan dan penerapan teknologi lebih <i>top down</i>	Perencanaan dan penerapan teknologi lebih <i>bottom up</i>
2	Penerapan teknologi tidak partisipatif	Penerapan teknologi partisipatif.
3	Teknologi DAS lebih mengedepankan pendekatan mekanis/sipil teknis (<i>structural approach</i>).	Teknologi DAS lebih mengedepankan pendekatan biologis (<i>Vegetative approach</i>) dibandingkan dengan <i>structural approach</i>
4	Model perencanaan <i>non spatial</i> dan sektoral	Model perencanaan <i>spatial (small watershed model</i> dan lintas sektoral
5	Tidak memasukan pendekatan ekonomi dan <i>enviromental accounting</i> dalam kegiatan Pengelolaan DAS	Kebijakan, analisis biaya-manfaat dan <i>enviromental accounting</i> masuk dalam kegiatan Pengelolaan DAS.
6	Teknologi diadopsi dari luar, menggusur <i>indigenous technology/knowledge</i>	Teknologi yg serasi dngn alam, mengga dan memodifikasi <i>indigeneous technology/knowledge</i>
7	Aspek kelembagaan tidak diperhatikan	Aspek kelembagaan diperhatikan
8	Peranan LSM kecil	Peranan LSM besar
9	Pemberian insentif untuk masyarakat tidak jelas.	Pemberian insentif untuk masyarakat lebih jelas
10	Dukungan politik tidak jelas	Dukungan politik jelas.

Sumber: Pasaribu, 1999.

Peran daerah hulu dalam menjamin kelangsungan ekonomi sumberdaya dan konservasi keanekaragaman hayati (*bio-diversity*) secara telaahan sistem hidrologi dan ekologi tidak dapat diabaikan. Melalui pertimbangan tersebut DAS dapat dimanfaatkan secara penuh dan pengembangan ekosistem daerah hulu dapat dilaksanakan sesuai dengan kaidah-kaidah preservasi (*preservation*), reservasi (*reservation*), dan konservasi (*conservation*). Hal tersebut menunjukkan bahwa daerah hulu dan hilir suatu DAS mempunyai keterkaitan biofisik yang direpresentasikan oleh daur hidrologi dan daur unsur hara. Adanya keterkaitan biofisik tersebut, DAS dapat dimanfaatkan sebagai satuan perencanaan dan evaluasi logis terhadap pelaksanaan program-program pengelolaan DAS.

Tujuan pengelolaan DAS diantaranya adalah untuk mempertinggi infiltrasi dan menurunkan aliran permukaan. Pengelolaan DAS berhubungan dengan usaha konservasi tanah dan air di DAS. Sasaran utama pengelolaan DAS adalah:

1. Rehabilitasi lahan yang terlantar atau yang masih produktif,
2. Perlindungan terhadap lahan yang rawan terhadap erosi dan longsor tanah,
3. peningkatan dan pengembangan sumberdaya air.

Evaluasi keadaan DAS dapat dilakukan berdasarkan hal-hal sebagai berikut.

1. Kondisi DAS dianggap normal apabila:
 - a. Koefisien aliran (C) berfluktuasi secara normal dan nilai C relatif tetap,
 - b. Nisbah Q maksimum dengan Q minimum normal.
2. Kondisi suatu DAS dianggap mulai terganggu apabila:
 - a. Nilai C cenderung meningkat,
 - b. Nisbah Q maks dengan Q min cenderung meningkat,
 - c. Tinggi permukaan air tanah berfluktuasi secara ekstrim.

Kerusakan sumberdaya alam disebabkan oleh suatu perencanaan yang lebih mengedepankan pertumbuhan ekonomi dengan mengabaikan pelestarian lingkungan. Suatu perencanaan pengelolaan DAS mestinya menggunakan pendekatan dalam bentuk pengembangan wilayah yang menempatkan DAS sebagai suatu unit pengelolaan fisik, sosial, ekonomi, budaya, dan kelembagaan, dengan upaya menekan kerusakan seminimal mungkin.

Pelaksanaan pengelolaan DAS banyak bertumpu pada aktivitas yang berdimensi biofisik seperti pengendalian erosi, penghutanan kembali lahan kritis, pengelolaan lahan pertanian konservatif. Sementara dimensi sosial lebih diarahkan pemahaman kondisi sosial budaya setempat dan penggunaan kondisi tersebut sebagai pertimbangan untuk merencanakan strategi aktivitas pengelolaan DAS yang berdaya guna tinggi serta efektif.

Menurut Priyono (2003), hal-hal pokok yang perlu dipertimbangkan dalam penyusunan rencana pengelolaan DAS meliputi :

1. Bentuk tata ruang (tataguna lahan, arahan pemanfaatan, kemampuan lahan).
2. Karakteristik fisik DAS (iklim, hidrologi, geologi, tanah).
3. Karakteristik sosial ekonomi (termasuk kelembagaan pengelola DAS).
4. Nilai kelayakan ekonomi.
5. Nilai kelayakan ekologis.
6. Pengembangan sistem informasi.

BAB III PERAN PENUTUP LAHAN SEBAGAI PENGENDALI BANJIR

Penggunaan lahan atau disebut juga penutup lahan merupakan hasil usaha manusia dalam mengelola sumber daya tersedia untuk memenuhi kebutuhan penduduk. Beberapa sumber daya seperti iklim dan relief tidak langsung bereaksi terhadap campur tangan manusia, sehingga cenderung mendekati stabil. Sumber daya lain, yaitu vegetasi, air dan tanah memberikan reaksi yang nyata terhadap campur tangan manusia dan menunjukkan perubahan.

Peggunaan lahan dapat dikelompokkan dalam dua golongan besar yaitu penggunaan lahan pertanian dan lahan bukan pertanian. Penggunaan lahan pertanian secara garis besar dibedakan dalam penggunaan lahan berdasarkan atas penyediaan air dan komoditi yang diusahakan, dimanfaatkan atau yang terdapat di atas lahan tersebut. Berdasarkan hal ini dikenal macam penggunaan lahan seperti tegalan, sawah perkebunan, padang rumput, alang-alang dan sebagainya. Penggunaan lahan bukan pertanian dibedakan dalam penggunaan kota atau desa, industri, rekreasi, pertambangan dan sebagainya (Arsyad, 1989).

Simanjuntak (1996) mengatakan bahwa perubahan penutup lahan tidak akan membawa masalah yang serius sepanjang mengikuti kaedah konservasi tanah dan air serta kelas kemampuan lahan. Berdasarkan aspek hidrologi, perubahan penggunaan lahan akan berpengaruh langsung terhadap karakteristik penutupan lahan sehingga akan mempengaruhi sistem tata air DAS. Fenomena ini ditunjukkan oleh respon hidrologi DAS yang dapat dikenali melalui produksi air dan sedimen.

3.1. Sifat-sifat Vegetasi dan Tanah

Tanah merupakan media amat penting untuk pertumbuhan vegetasi. Tanah menyediakan kepada tanaman nutrisi yang diperlukan untuk tumbuh dan dapat menyimpan air. Terdapat banyak jenis-jenis tanah yang berbeda. Jenis tanah dapat berbeda tergantung pada sifat-sifat, biologi, kimiawi, maupun fisiknya. Sifat tanah menentukan jenis dan banyaknya zat makanan yang ada dalam tanah, banyak air yang dapat disimpan dalam tanah, berapa dalamnya, akar dapat menembus ke dalam tanah. Karena itu sangat penting untuk diketahui sifat dan perbedaan sebagian besar jenis tanah.

3.1.1. Sifat-Sifat Vegetasi

Tanaman menyerap air dari tanah melalui sistim perakaran. Penerapan yang paling kuat adalah dekat akar rambut. Bila tanaman tidak cukup memiliki akar-akar rambut maka kapasitas tanaman untuk menyerap air mengecil luar biasa. Dengan kadar air yang lumayan akar-akarnya akan memiliki pertumbuhan yang cepat. Akar-akar rambut yang kecil mampu untuk menembus disela-sela partikel-partikel tanah yang sangat kecil.

Akar-akar rambut mempunyai kemampuan bertumbuh ke arah Bergeraknya air. Apabila air tanah bergerak ke lapisan-lapisan lebih dalam, maka akar-akarnya mampu bertumbuh ke arah itu. Akar-akar tidak bergerak melalui tanah kering. Didalam tanah yang kering akar-akar rambut menjadi kering dan akan mati beberapa waktu kemudian.

Sifat dari sistim perakaran ditetapkan oleh keturunan. Setiap jenis memiliki ciri-ciri pertumbuhan. Sifat-sifat akar dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Akar serabut (*fibrous*): bertumbuh dangkal, banyak cabang-cabang, akar kecil, panjangnya sama, bentuknya sama, tebalnya sama. Contoh akar pada tanaman padi, brambang, juwawut, jagung.
2. Akar tunggal (*tap-roots*), tanaman memiliki satu akar besar dan amat tebal, menghujam ke dalam tanah dan lurus. Akar-akar yang lebih kecil tumbuh pada akar besar. Akar tidak dapat menembus tanah yang amat keras dan padat. Contoh akar pada tanaman kapas, kopi, coklat, okra, wortel, papaya.
3. Akar rambat (*tuberous roots*), akar macam ini tidak tumbuh dalam-dalam didalam tanah, hanya dangkal dan panjang. Biasanya akar memenuhi tempat luas. Contohnya akar yang tumbuh pada sebagian besar pohon-pohon.
4. Akar umbi (*tuberous roots*), didalam akar-akar ini tanaman menyimpan makanan. Biasanya, bentuk akar tebal karena menyerap banyak makanan dari tanah yang akan memberi makan kepada seluruh tanaman. Contoh sistem perakaran pada tanaman ketela pohon, ketela rambat, dan yam.

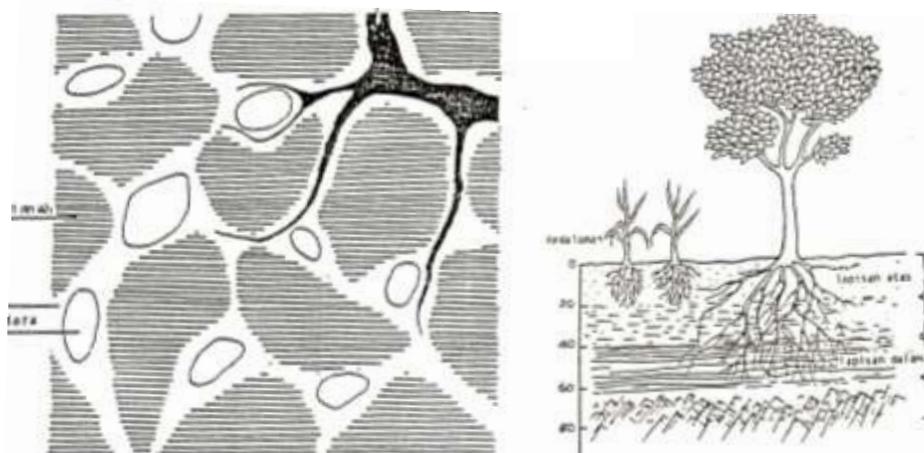
Batang mempunyai fungsi terpenting dalam menyalurkan air dan zat makanan dari akar ke bagian lain dari tanaman. Batang seperti kayu kecil pada tanaman kacang-kacangan dan kacang tanah atau terdiri dari beberapa belas daun. Daun-daun dari sebagian besar tanaman adalah hijau, warna hijau disebabkan oleh substansi disebut klorofil. Klorofil merupakan kunci kehidupan didunia karena

mampu memproduksi zat asam. Selanjutnya klorofil memproduksi gula dan menyebabkan tanaman tumbuh. Gula-gula itu disebarkan kepada sel-sel tanaman dalam larutan dengan air. Daun-daun dari tanaman-tanaman memiliki lobang-lobang kecil berupa lobang-lobang pernafasan yang dapat memasukkan udara dan membuatnya air. Air dapat menguap dan membuat daun-daun sejuk, sekalipun dalam terik matahari dan suhu tinggi. Lobang-lobang ini sangat kecil dan hanya dapat dilihat dengan lensa pembesar.

3.1.2. Sifat Tanah

Tanah yang kering dihancurkan pada tangan dapat dilihat bahwa tanah terdiri dari bermacam-macam partikel dari ukuran berbeda. Kebanyakan partikel berasal dari erosi batu-batuan disebut partikel-partikel mineral. Beberapa berasal dari sisa-sisa tanaman atau hewan, dinamakan partikel-partikel organik atau bahan organik. Kedua partikel mineral dan organik merupakan nutrisi bagi tanaman.

Partikel-partikel tanah seolah-olah berhimpit satu sama lain, tetapi pada kenyataannya ada rongga diantara partikel-partikel tersebut. Rongga ini dinamakan pori-pori. Bila tanah kering, pori-pori terutama berisi udara. Setelah diairi atau hujan, pori-pori akan berisi air (Gambar 3.1).



Gambar 3.1. Partikel dan Rongga Tanah

3.2. Sistem Perakaran dan Rongga-Rongga dalam Tanah

Tanah liat mengandung banyak nutrisi (hara) bagi tanaman dari pada tanah berpasir. Untuk bercocok tanam pada tanah-tanah berpasir kerap kali harus memakai pupuk. Orang-orang yang berpengalaman dapat menentukan tekstur tanah dengan meremas tanahnya diantara jari-jari tangan.

Struktur tanah menunjukkan pengelompokan partikel partikel butir-butir tanah (pasir, lumpur, tanah liat, bahan organik) kedalam unit-unit atau agregat-agregat. Agregat-agregat ini dapat diatur dengan cara berbeda dengan membiarkan banyak rongga atau hampir tak akan mudah masuk ke tanah. Sebaliknya bila terdapat banyak rongga air akan mudah masuk. Manusia dapat mempengaruhi kondisi struktur tanah dengan praktek-praktek bercocok tanam tertentu seperti membajak dan menggaru.

Membajak dan menggaru diterapkan untuk memperbaiki struktur tanah sehingga air dapat menembus tanah dengan mudah, jadi mencegah masalah pembuangan air dan udara dapat masuk ke tanah. Kebanyakan tanaman bertumbuh bagus bila tanahnya berudara. Daya infiltrasi suatu tanah adalah kecepatan yang diperlukan air untuk merembes kedalamnya. Biasanya diukur dengan kedalaman dari lapisan air yang dapat diserap tanah dalam satu jam.

Keadaan kelembaban tanah dapat diumpamakan tangki air bagi tanaman. Tangki itu bisa penuh, kosong sama sekali atau berisi sebagian. Selama hujan mengguyur atau penggunaan air dengan irigasi pori-pori tanah akan terisi air. Bila semua pori-pori telah terisi air maka tanahnya telah jenuh. Tak ada udara sedikitpun yang tertinggal dalam tanah tersebut. Bila segenggam tanah diremas dengan tangan akan ada sekedar air yang keluar diantara jari-jari.

Kapasitas lapangan, adalah lama atau periode kejenuhan dari tanah lapisan atas. Setelah hujan berhenti, sebagian air yang berada pada pori-pori atas bergerak ke bawah. Proses ini disebut drainase, setelah drainase berhenti, pori-pori besar terisi dengan kedua unsur air dan udara sedangkan pori-pori yang kecil masih tetap dipenuhi air. Pada tingkat ini tanah dikatakan berada pada kapasitas lapangan. Pada kapasitas lapangan handungan air dan udara dari tanah dianggap sebagai ideal untuk pertumbuhan tanaman.

Titik layu permanen, adalah sedikit demi sedikit air yang tertampung dalam tanah diserap oleh akar-akar tanaman atau menguap (evaporasi) dari tanah atas (*top soil*) ke atmosfer. Bila tidak diberikan tambahan air kepada tanah, maka tanah secara bertahap menjadi kering.

Semakin tanah menjadi lebih kering, sisanya air akan tertahan lebih ketat dan lebih sulit bagi akar-akar tanaman untuk menghisapnya. Pada tingkat tertentu, kenaikan air tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan tanaman. Tanaman kehilangan kesegaran dan layu, daun-daun berubah warna dari hijau menjadi kuning. Akhir

tanaman mati. Kadar air tanah pada tingkatan dimana tanaman tidak lagi dapat hidup kembali disebut titik layu permanen. Tanah masih berkadar air sekedarnya tetapi bagi akar-akar sangat sulit untuk menyedot dari tanahnya.

Kadar air yang tersedia (*available watercontent* merupakan jumlah air sesungguhnya yang tersedia bagi tanaman. Pengertian lain, jumlah air yang tersimpan didalam tanah pada kapasitas lapangan dipotong air yang akan tertahan dalam tanah pada titik layu permanen. Kadar air tersedia sangat tergantung dari tekstur tanah dan struktur tanah. Kadar air yang tersedia = kadar air pada kapasitas lapangan - (dipotong) kadar air pada titik layu permanen.

3.2.1. Sifat Tanaman terhadap Air

Telah dijelaskan bahwa tanaman memerlukan air untuk mengirim nutrisi/zat hara ke semua bagian dari tanaman dan bahwa tanaman bertranspirasi/berkeringat lewat daun untuk mempertahankan suhu yang konstan atau tetap. Tambahan detil-detil akan diberikan dari jumlah air yang dibutuhkan untuk keperluan-keperluan tersebut dan faktor-faktor mana mempengaruhi transpirasi suatu tanaman.

Bayangkan sebuah bak terbuka dengan air setinggi 10 mm; letakkan di lapangan terbuka selama 24 jam tanpa kehujanan sama sekali. Pada akhir tercapainya waktu 24 jam, sebagian dari air yang semula berada dalam bak telah menguap. Bila hanya tinggal 6 mm ketinggian air yang tertinggal didalam bak, maka penguapan selama hari itu sebesar 4 mm.

Beberapa air dari tanah di lapangan yang mengelilingi bak juga telah menguap selama hari itu. Tetapi akan salah kiranya memperkirakan bahwa penguapan dari bak sama dengan penguapan dari tanah. Penguapan dari sebidang tanah tanpa tanaman lebih sedikit dari evaporasi di dalam bak air karena kurang adanya kontak antara udara terbuka (matahari) dan air yang berada dalam pori-pori tanah. Namun apabila bidang tanah itu ditanami situasinya bisa berlainan. Transpirasi sebagian besar terjadi selama siang hari. Jumlah air yang dipergunakan tanaman-tanaman untuk transpirasi juga dinyatakan dalam mm air tiap hari (mm/ hari).

Akar tanaman menghisap air yang ada di tanah untuk hidup dan tumbuh. Sebagian air ini tidak akan menetap di tanaman tetapi akan meninggalkan tanaman lagi sebagai uap melalui batang dan daun. Proses ini dinamakan

transpirasi. Umumnya transpirasi terjadi pada siang hari. Jumlah air yang menguap melalui tanaman untuk transpirasi dinyatakan dalam mm/hari.

Jumlah air yang dapat diserap dari tanah tergantung diantara faktor-faktor lain ialah kedalaman dari sistim akarnya. Tanaman-tanaman dengan sistim akar yang dalam biasanya dapat bertahan hidup dalam periode-periode kering dari pada tanaman dengan sistim akar yang dangkal. Sungguh mencengangkan betapa banyaknya petani-petani tidak mengetahui kedalam akar dari tanaman-tanaman mereka. Untuk mendapatkan gambaran tentang kedalaman akar dari pelbagai tanaman-tanaman, dibawah ini disajikan daftar yang menunjukkan kedalaman akar dengan pengembangannya.

Sebagai perkiraan dapat dikatakan bahwa akar tanaman tumbuh mencapai kedalaman 30 cm sampai 40 cm tiap bulan. Bila perkiraan tersebut diterima, jadi bila tanaman-tanaman mencapai pertumbuhan puncak/maksimum dalam 60 hari, akarnya akan mencapai kedalaman 80 cm. Bila tingkat maksimum dicapai dalam 90-120 hari, akar-akarnya akan mencapai kedalaman antara 90 cm dan 130 cm. Banyaknya air yang diperlukan untuk pertumbuhan yang optimum tergantung pada: jenis tanaman, tahap pertumbuhan tanaman, jangka waktu masa tumbuh (umur tanaman), dan iklim pada saat masa-tumbuh.

Tabel 3.1. Kedalaman Perakaran pada Berbagai Jenis Tanaman

Tanaman	Kedalaman akar (meter)
Pisang	0,5 - 0,9
Kacang -tanah	0,5 - 1,0
Jagung	1,0 - 1,7
Pohon palem	0,7 - 1,1
Kapri	0,6 - 1,0
Kedelai	0,1 - 1,3
Tebu	1,2 - 2,0
Tembakau	0,5 - 1,0
Tomat	0,7 - 1,5
Sayur mayur	0,3 - 0,6

Telah dijelaskan bahwa selama masa tumbuh, tanaman berkeringat. Pada saat yang sama terjadi penguapan pada permukaan tanah. Jumlah air yang optimum

terpakai untuk kedua keadaan tersebut dinamakan evapotranspirasi atau kebutuhan konsumtif (*consumptive use*) suatu tanaman. Evapotranspirasi dinyatakan dalam mm/hari. Kebutuhan air pada masa tumbuh tidak merata sama. Pada awal masa tumbuh kebutuhan air sedikit. Kebutuhan akan air bertambah dengan tumbuhnya daun dan bila hari menjadi panas. Kebutuhan mencapai puncak pada saat tanaman berbunga, dan pembentukan buah dan cepat kembali berkurang pada tahap selama pemasakan.

3.2.2. Perubahan Penutup Lahan dan Respon Aliran Sungai

Kebanyakan persoalan sumberdaya air berkaitan dengan waktu dan penyebaran aliran air. Kekeringan dan banjir adalah dua contoh klasik yang kontras tentang perilaku aliran air sebagai akibat perubahan kondisi tataguna lahan dan faktor meteorologi, terutama curah hujan. Penelaahan masalah sumberdaya air melibatkan berbagai macam pendekatan pengelolaan vegetasi dan usaha-usaha keteknikan lainnya. Sebagai contoh, waduk dapat menampung aliran air hujan ketika hujan deras berlangsung di daerah hulu, dan dengan demikian, mengurangi kemungkinan terjadinya banjir di daerah hilir. Ia juga dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan aliran air selama musim kemarau sehingga dapat menambah debit aliran air untuk irigasi pada saat-saat yang kritis tersebut. Pengelolaan vegetasi di daerah hulu juga dapat menurunkan aliran sedimen yang masuk ke dalam waduk sehingga umur waduk dapat diperpanjang, dan dengan demikian, mendukung kelangsungan pemanfaatan waduk. Tetapi, perencanaan pengelolaan vegetasi, terutama dalam pemilihan jenis vegetasi untuk meningkatkan hasil air yang tidak tepat dapat memberikan hasil sebaliknya, yaitu menurunkan hasil air karena cadangan air tanah di tempat berlangsungnya kegiatan tersebut berkurang oleh adanya proses evapotranspirasi vegetasi.

Pengelolaan vegetasi, khususnya vegetasi hutan, dapat mempengaruhi waktu dan penyebaran aliran air. Beberapa pengelola DAS beranggapan bahwa hutan dapat dipandang sebagai pengatur aliran air (*streamflow regulator*), artinya bahwa hutan dapat menyimpan air selama musim hujan dan melepaskannya pada musim kemarau. Konsekuensi logis dari adanya anggapan seperti itu adalah bahwa keberadaan hutan lalu dapat menghidupkan mata-mata air yang telah lama tidak mengalirkan air, keberadaan hutan dapat mencegah terjadinya banjir besar

(*flash-flood*) dan kemudian menjadi kelihatan logis bahwa hilangnya areal hutan akan mengakibatkan teriadinya kekeringan atau bahkan dapat mengubah daerah yang sebelumnya tampak hijau dan subur menjadi daerah seperti padang pasir (*desertification*).

Anggapan-anggapan tersebut di atas, pada banyak kasus, tidak sesuai dengan hasil-hasil penelitian hidrologi hutan yang telah banyak dilakukan di daerah beriklim sedang (*temperate zone*) maupun di daerah tropis. Oleh karena itu, lebih didasarkan pada anggapan atau mitos daripada pada kenyataan, bahkan di negara yang sudah maju sekalipun. Namun demikian, harus diakui bahwa adanya anggapan tersebut telah mengilharni meluasnya gerakan konservasi air dan tanah di beberapa negara maju seperti Amerika Serikat dan beberapa negara Eropa lainnya.

Hasil penelitian yang dilakukan secara intensif di banyak Negara tentang pengaruh pengaturan jumlah dan komposisi vegetasi terhadap perilaku aliran air menunjukkan bahwa aliran air tahunan meningkat apabila vegetasi dihilangkan atau dikurangi dalam jumlah cukup besar (Bosch dan Hewlett, 1982; Hamilton dan King, 1984; Bruijnzeel, 1990; Malmer, 1992). Secara umum, kenaikan aliran air disebabkan oleh penurunan penguapan air oleh vegetasi (*transpiration*), dan dengan demikian, aliran air permukaan maupun air tanah menjadi lebih besar.

Keseluruhan curah hujan yang diterima oleh suatu masyarakat tumbuhan, bagian air yang diuapkan melalui vegetasi adalah cukup besar. Oleh karenanya, untuk meningkatkan jumlah aliran air dalam suatu DAS dengan cara menurunkan evapotranspirasi lazim dilakukan. Sebagai contoh, dari keseluruhan jumlah curah hujan tahunan, 85 - 95 % air yang diterima diuapkan kembali atau dikonsumsi oleh berbagai tanaman dalam suatu DAS di daerah-daerah arid dan semi arid (Brooks et al., 1985). Artinya, aliran air yang tersedia hanya berkisar antara 5 - 15 % dari jumlah air hujan yang diterima di daerah tersebut. Namun demikian, di daerah dengan curah hujan relatif besar jumlah air yang diuapkan kembali ke atmosfer umumnya tidak lebih dari 35 %.

Hasil penelitian jangka panjang dan dilakukan di berbagai penjuru dunia juga menunjukkan bahwa jumlah aliran air meningkat apabila (Bosch dan Hewlett, 1982; Hibbert, 1983):

1. Hutan ditebang atau dikurangi dalam jumlah cukup besar.
2. Jenis vegetasi diubah dari tanaman yang berakar dalam menjadi tanaman berakar dangkal.

3. Vegetasi penutup tanah diganti dari tanaman dengan kapasitas intersepsi tinggi tanaman dengan tingkat intersepsi yang lebih rendah.

Faktor-faktor lain yang berpengaruh terhadap besarnya perubahan air larian adalah tanah, iklim, dan persentase luas DAS. Semakin besar perubahan tata guna lahan, misalnya perubahan dari hutan menjadi ladang pertanian, semakin besar pula perubahan yang terjadi pada air larian. Respons aliran air diperkirakan akan lebih besar di wilayah dengan tanah yang dalam dan dengan curah hujan tahunan tinggi. Sementara respons perubahan aliran air tersebut rendah di daerah dengan iklim panas.

3.3. Keterkaitan Banjir dengan Iklim dan Lahan Hutan

Aspek paling menonjol dalam kaitannya dengan pengelolaan DAS, terutama hutan, di daerah hulu serta pengaruh yang ditimbulkannya di daerah hilir adalah banjir, pemasokan air (minum, irigasi, industri), dan transpor sedimen. Dalam perkembangan selanjutnya isu keberadaan hutan telah dikaitkan dengan masalah yang berdimensi lebih luas dan spektakuler seperti hutan mencegah banjir, hutan mencegah kekeringan, hutan menambah curah hujan, dan hutan mengalirkan sumber-sumber air yang sebelumnya tidak ada.

Tampak adanya kesalahan kaprahan yang besar dan nyaris menjadi mitos bahwa hutan lalu dipandang sebagai penyelamat lingkungan tanpa batas. Mitos tersebut tumbuh dan berkembang sejalan dengan meningkatnya penggundulan hutan (*deforestasi*) yang berlangsung hampir di semua wilayah hutan hujan tropis di dunia. Keputusan dan kekhawatiran akan kehilangan sumberdaya hutan telah mendorong para pengelola hutan di banyak belahan bumi untuk mencari isu yang paling ampuh untuk menanggulangi semakin berkurangnya tegakan hutan. Isu yang dianggap paling tepat untuk maksud tersebut adalah dengan membentuk opini bahwa hutan adalah jalan keluar untuk mengatasi permasalahan kemerosotan kualitas lingkungan hidup. Sehingga jargon-jargon seperti hutan mencegah banjir dan seterusnya seperti tersebut di atas menjadi biasa didengar dalam pemberitaan-pemberitaan surat kabar, pidato-pidato pejabat pemerintah, bahkan dalam acara seminar-seminar akademis. Namun demikian, diakui bahwa kampanye penyelamatan hutan dengan cara tersebut di atas dianggap berhasil menumbuhkan kesadaran pejabat dan masyarakat terhadap perlunya keberadaan hutan. Satu hal yang barangkali tidak terfikirkan akibat dari kampanye yang salah kaprah tersebut

adalah adanya kesan yang tidak dapat dihindari tentang apa yang disebut sebagai "*the right objectives for the wrong reasons*". Tujuan atau sasaran akhirnya baik, yaitu keberadaan hutan yang memang sangat diperlukan bagi kehidupan umat manusia. Akan tetapi "alat" yang digunakan untuk mencapai tujuan itu menyesatkan, tidak mendidik dan cenderung berlebih-lebihan, dan oleh karenanya, menjadi tidak proporsional. Uraian berikut ini dimaksudkan sebagai klafifikasi dari kerancuan pemahaman tentang peranan hutan terhadap isu-isu seperti telah disebutkan di muka.

Pernyataan yang menghubungkan pengaruh keberadaan hutan terhadap terjadinya banjir perlu ditempatkan dalam proporsi yang tepat. Sebagaimana telah ditunjukkan oleh Hewlett (1982) bahwa telah timbul salah pengertian yang disebabkan oleh kerancuan dalam pemakaian istilah "banjir". Dalam bahasa populer, Pengertian banjir biasanya diartikan sebagai aliran/genangan air yang menimbulkan kerugian ekonomi atau bahkan menyebabkan kehilangan jiwa. Dalam istilah teknis, banjir adalah aliran air sungai yang mengalir melampaui kapasitas tampung sungai, dan dengan demikian, aliran air sungai tersebut akan melewati tebing sungai dan menggenangi daerah di sekitarnya.

Kerancuan istilah "banjir" yang kedua adalah adanya anggapan bahwa debit puncak tahunan sering diartikan sebagai banjir tahunan. Padahal banyak kasus menunjukkan bahwa aliran air dengan debit puncak tahunan sering tidak sampai melewati tebing sungai, dan oleh karenanya, secara teknis, tidak dapat disebut sebagai banjir. Untuk lebih proporsional, penelaahan peristiwa banjir seharusnya ditentukan berdasarkan angka kementakan (*probability*) terjadinya debit banjir (debit sungai yang melampaui tebing sungai) serta dengan memanfaatkan karakteristik hidrograf aliran. Misalnya debit puncak untuk periode ulang (*return period*) 50 tahun (dengan angka kementakan 0,02) atau volume air larian dengan periode ulang 20 tahun (angka kementakan 0.05). Untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas mengenai prosedur dan cara menentukan periode ulang dan analisis frekuensi.

Menentukan pengaruh gangguan. DAS bagian hulu (kerusakan hutan) terhadap kemungkinan terjadinya banjir di daerah hilir memerlukan observasi respons DAS bagian hulu terhadap masukan curah hujan. Respons DAS tersebut dapat digambarkan melalui karakteristik hidrograf aliran. Baik atau buruknya (dalam kaitannya dengan terjadinya banjir) respons DAS terhadap curah hujan banyak ditentukan oleh karakteristik DAS yang, antara lain, terdiri atas keadaan topografi,

kelembaban dan jenis tanah, penutupan vegetasi, dan ukuran dan kerapatan drainase DAS. Analisis hubungan curah hujan-banjir untuk skala DAS dapat dipelajari melalui studi karakteristik hidrograf aliran dari DAS yang bersangkutan serta menghubungkannya dengan faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik hidrograf tersebut. Karakteristik hidrograf aliran yang penting untuk diketahui adalah volume aliran air, debit puncak, dan waktu (T_p) sampai terjadinya debit puncak tersebut.

Bentuk dan ukuran DAS, kemiringan permukaan tanah dan sungai/saluran air, dan kerapatan sungai adalah karakteristik DAS yang relatif tidak berubah. Masing-masing karakteristik DAS tersebut, secara bersama-sama akan mempengaruhi respons DAS untuk keadaan curah hujan tertentu. Sementara sistem tanam dan keadaan tanah adalah komponen DAS yang bersifat dinamik dan apabila bentuk vegetasi diubah, dalam batas tertentu, dapat mempengaruhi respons aliran air dalam DAS untuk curah hujan tertentu.

Pengaruh tataguna lahan dan aktivitas lain terhadap perilaku aliran air terjadi dengan cara seperti tersebut di bawah ini:

1. Penggantian atau konversi vegetasi dengan transpirasi/intersepsi tahunan tinggi menjadi vegetasi dengan transpirasi/intersepsi rendah dapat meningkatkan volume aliran air dan mempercepat waktu yang diperlukan untuk mencapai debit puncak. Mekanisme peningkatan volume aliran air tersebut terjadi ketika hujan turun, kelembaban tanah awal cenderung meningkat dan karenanya daya tampung air dalam tanah menjadi berkurang.
2. Kegiatan yang bersifat memadatkan tanah seperti penggembalaan yang intensif, pembuatan jalan dan bangunan lainnya, dan pembalakan hutan. Kegiatan-kegiatan tersebut, dalam batas tertentu, dapat meningkatkan volume dan waktu berlangsungnya air larian, dan dengan demikian, memperbesar debit puncak. Kegiatan yang bersifat memacu laju infiltrasi diharapkan dapat memberikan pengaruh sebaliknya.

Pengaruh aktifitas tataguna lahan tersebut di atas dapat memberikan akibat nyata pada volume aliran air dan waktu tercapainya debit puncak sebagai respons DAS terhadap curah hujan pada tingkat awal. Sejalan dengan bertambah besar dan lama waktu hujan, pengaruh kombinasi tanaman-tanah terhadap aliran air menjadi berkurang. Oleh karenanya, pengaruh vegetasi hutan terhadap terjadinya banjir adalah kecil untuk curah hujan besar.

Untuk curah hujan sedang, luas dan tingkat kerusakan DAS akan menentukan karakteristik aliran air. Perubahan karakteristik aliran air yang terjadi pada sub-DAS urutan pertama (*first order watershed*) akan memberikan dampak kecil di daerah hilir dibandingkan dengan apabila perubahan tersebut terjadi pada urutan sub-DAS lebih besar (lebih dekat ke titik pengamatan debit). Penelusuran dampak perubahan aliran air di daerah hilir tersebut menjadi sulit dilakukan mengingat bahwa perubahan volume, debit puncak, dan waktu terjadinya debit puncak tersebut bervariasi dari satu lokasi ke lokasi lainnya.

Beberapa penelitian skala DAS menunjukkan adanya peningkatan volume aliran air dan debit puncak setelah penebangan hutan (Brooks et al., 1989). Sementara itu, beberapa perlakuan DAS menunjukkan pengaruh yang kecil atau bahkan pada luas tertentu cenderung menurunkan karakteristik aliran air. Oleh karenanya, adalah tidak tepat untuk membuat kesimpulan tentang hubungan antara perubahan vegetasi dan perubahan debit aliran yang berlaku untuk semua tempat.

Meskipun kebanyakan penelitian di daerah iklim sedang menunjukkan bahwa kenaikan terbesar volume aliran air dan debit puncak berlangsung pada tempat dengan kelembaban tanah awal tinggi, pengalaman di hutan hujan tropis Australia menunjukkan bahwa pengaruh penebangan hutan terhadap aliran air adalah kecil (Gilmour et al., 1982). Mekanisme pembentukan aliran air berikut ini dapat membantu menjelaskan kecilnya pengaruh penebangan hutan terhadap aliran air.

Pada suatu DAS, konduktivitas hidrolik tanah menunjukkan kecenderungan menurun pada tanah dengan kedalaman antara 0,2-0,5 m. Selama atau setelah musim muson (*monsoon*), laju air larian cenderung meningkat, baik pada daerah berhutan maupun pada daerah tidak berhutan. Dengan demikian, pada musim basah, tanah dengan permeabilitas rendah lebih menentukan terjadinya aliran air dibanding vegetasi penutup tanah.

Penelitian di British Columbia menunjukkan bahwa debit puncak tertunda beberapa jam setelah aktivitas penebangan hutan. Tertundanya debit puncak tersebut disebabkan oleh semakin kasarnya permukaan tanah sebagai akibat aktivitas penebangan di tempat tersebut. Cekungan-cekungan kecil di atas permukaan tanah (*surface detentions*) juga semakin banyak dan berdampak menghambat laju air larian. Kecepatan air larian juga mengalami hambatan karena semakin banyaknya ranting, cabang, dan seresah di atas permukaan tanah dan saluran air setelah aktivitas penebangan hutan.

Penjelasan dengan contoh seperti tersebut di atas secara jelas menunjukkan perlunya pemahaman semua faktor yang terlibat dalam mekanisme proses keterkaitan curah hujan air larian. Faktor-faktor penting lainnya yang juga perlu dipertimbangkan dalam evaluasi pengaruh gangguan vegetasi penutup tanah terhadap aliran air adalah:

1. Luas vegetasi penutup tanah yang terganggu, terutama yang secara langsung berhubungan dengan proses perubahan intersepsi dan keadaan kelembaban tanah awal.
2. Kapasitas kelembaban tanah dan persyaratan hidrolis serta kemungkinan adanya lapisan tanah kedap air.
3. Mekanisme pembentukan aliran air, antara lain, informasi mengenai: Apakah kapasitas infiltrasi menurun atau apakah sistem variabel wilayah sumber air larian (*variable source area system*) berubah.
4. Karakteristik sistem saluran air dan perubahannya sebagai akibat perubahan kecepatan air larian dan bentuk cekungan permukaan bumi (*detention storage*).
5. Perubahan sistem saluran air dalam DAS yang dapat mempengaruhi waktu konsentrasi (*time of concentration*) aliran air.
6. Luas erosi permukaan dan tanah longsor dalam hubungannya dengan cekungan permukaan tanah dalam DAS atau pada sistem saluran air.

Perhatian terhadap banjir umumnya berlangsung di daerah hilir dan jauh dari daerah hulu suatu DAS dengan luas hutan yang sedang mengalami perubahan. Debit puncak berkaitan dengan terjadinya banjir di sepanjang sungai utama mewakili akumulasi aliran air dari beberapa sub-DAS dengan tataguna lahan, jenis tanah, dan vegetasi dan topografi yang berbeda. Debit puncak dapat bergerak dari wilayah hulu DAS ke daerah hilir dengan pengaruh kecil terhadap terjadinya debit puncak di daerah hilir. Kecilnya pengaruh tersebut disebabkan oleh ketidak samaan waktu terjadinya debit puncak dan oleh adanya proses infiltrasi, evaporasi dan tertahannya aliran air permukaan oleh daya tampung air permukaan dalam perjalanan dari DAS bagian hulu ke daerah hilir.

Perubahan tataguna lahan, khususnya perubahan tegakan hutan, tampaknya akan memberikan pengaruh terhadap terjadinya banjir dengan periode ulang antara 5 sampai 20 tahun. Pengaruh itupun terjadi dengan catatan bahwa perubahan dari hutan menjadi bentuk tataguna lahan selain hutan, terutama tataguna lahan yang bersifat lebih memadatkan permukaan tanah sehingga menurunkan laju infiltrasi

tanah atau meningkatkan air larian. Pengaruh tersebut menjadi makin tidak berarti untuk banjir besar dengan waktu periode ulang 50 tahun atau lebih. Sementara itu, banjir yang terjadi pada sungai-sungai besar lebih dipengaruhi oleh faktor meteorology dibanding aktivitas tataguna lahan di daerah hulu DAS. Oleh karenanya, keberadaan hutan dalam suatu DAS seharusnya dipandang sebagai kegiatan penclukung dari usaha lain dalam menurunkan terjadinya banjir.

Tidak sedikit ahli konservasi dan ahli kehutanan yang antusias masih beranggapan bahwa keberadaan hutan dapat mencegah terjadinya banjir. Padahal sesuai dengan hasil-hasil penelitian yang telah disebutkan di muka menunjukkan bahwa pengaruh tataguna lahan (khususnya hutan) terhadap banjir besar adalah kecil kecuali bentuk tataguna lahan yang ada bersifat memadatkan tanah atau bersifat mengurangi laju infiltrasi. Lalu apakah peran hutan dalam mengurangi terjadinya banjir (menurunkan debit puncak dan volume air larian)? Jawaban yang mernuaskan dari pertanyaan ini tampaknya belum jelas benar. Penjelasan yang dapat dikemukakan adalah sebagai berikut.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa banjir (debit puncak) yang terjadi di daerah hilir suatu DAS bukanlah berasal dari debit puncak (*peakflow*) di daerah hulu (berhutan) melainkan berasal dari besarnya volume yang berasal dari daerah hulu. Kenyataan hidrologis semacam ini tidak boleh dikacaukan menyadari bahwa besarnya volume air yang dihasilkan oleh banyak anak-anak sungai (di daerah hulu) itu tidak menghasilkan debit puncak yang bersamaan waktunya. Sekali sejumlah besar volume air berada dalam sungai, tataguna lahan di atas sungai tersebut tidak mempunyai banyak pengaruh terhadap perilaku aliran air dalam sungai tersebut. Faktor waktu diperlukan untuk perjalanan air dari satu titik di daerah hulu ke daerah hilir dan kapasitas sungai membatasi untuk mengkaitkan secara langsung bahwa terjadinya debit puncak di daerah hulu, akibat penebangan hutan akan otomatis menyebabkan terjadinya debit puncak (banjir) di daerah hilir.

Sekali lagi tidak ada penjelasan yang ringkas dan jelas tentang hubungan sebab-akibat antara perubahan tataguna lahan dan terjadinya banjir, namun demikian, uraian singkat yang telah dikemukakan dimuka diharapkan dapat membantu pemahaman tentang permasalahan yang sering menimbulkan kontroversi. Uraian tersebut diharapkan dapat membedakan pengaruh tataguna lahan, topografi, banyaknya hujan, dan bentuk sungai terhadap debit puncak, besarnya volume air, dan kerusakan yang ditimbulkan. Secara umum peranan hutan

dalam menurunkan besaran banjir melalui peran perlindungan terhadap permukaan tanah dari gempuran tenaga kinetis air hujan (proses terjadinya erosi). Peran tersebut, antara lain dalam bentuk tajuk hutan berperan sebagai penampung air hujan untuk kemudian diuapkan kembali ke atmosfer (intersepsi) dan sebagian air akan tertahan (sementara) dalam lapisan permukaan daun. Sebagian air hujan yang sempat jatuh ke atas permukaan tanah (air lolos) masih akan tertahan oleh seresah organik di lantai hutan. Lapisan permukaan tanah hutan yang umumnya mempunyai pori-pori tanah besar (karena aktivitas mikroorganisme dan akar vegetasi hutan) akan memperbesar jumlah air hujan yang masuk ke dalam tanah (infiltrasi). Dengan kata lain, keseluruhan pengaruh hutan terhadap aliran air adalah bahwa, keberadaan hutan dapat mengurangi konsentrasi aliran air yang jatuh di atasnya untuk kejadian hujan dengan intensitas rendah sampai sedang dan melepaskan air tersebut ke sungai lebih terkendali dibandingkan kalau hujan jatuh di atas wilayah tidak berhutan.

Namun demikian, perlu pula digarisbawahi bahwa pengaruh hutan tersebut menjadi kurang berarti pada saat terjadi hujan lebat dengan intensitas tinggi. Berikut ini adalah peranan yang dimainkan hutan dalam kaitannya dengan peristiwa banjir:

1. Keberadaan hutan mempertahankan tanah tetap pada tempatnya. Erosi yang seringkali terjadi setelah penebangan hutan adalah merupakan penyebab utama adanya kaitan antara hutan dan banjir. Erosi dan tanah longsor yang menyertai pembuatan jalan hutan dapat mengakibatkan pendangkalan pada sungai-sungai di dalam hutan atau di daerah yang lebih rendah, dan dengan demikian, dapat mengakibatkan melimpasnya aliran air dari sungai-sungai tersebut (banjir).
2. Keberadaan hutan memberikan tambahan kapasitas tampung air. Karena besarnya evapo transpirasi hutan lebih besar daripada jenis tataguna lahan lainnya, lapisan tanah di bawah tegakan hutan seringkali lebih kering pada musim kemarau (musim rontok dan musim panas untuk daerah beriklim sedang). Apabila pada masa ini terjadi hujan lebat, aliran air bawah permukaan di bawah tegakan hutan akan tertahan untuk sementara di tempat tersebut. Dalam kasus ini, volume air larian di bawah tegakan hutan lebih kecil, dan karenanya, debit puncak yang terjadi di daerah hilir menjadi lebih kecil. Sementara itu pada musim hujan (musim semi atau dingin) lapisan tanah di bawah tegakan hutan sedang dalam proses atau telah menjadi jenuh. Pada tahap ini, evapotranspirasi akan memainkan peranan kecil dalam mengurangi volume air larian. Oleh karenanya, tambahan

kapasitas tampung air yang diberikan oleh tegakan hutan tidak begitu berarti karena aliran air terbesar biasanya terjadi ketika kelembaban tanah awal tinggi, baik ada atau tidak ada tegakan hutan.

3. Keberadaan hutan meningkatkan infiltrasi. Gangguan pada permukaan tanah setelah penebangan hutan dalam bentuk bercocok tanam yang tidak mengindahkan kaidah konservasi, pembakaran tumbuhan bawah yang terus-menerus atau penggembalaan yang berlebih dapat menurunkan laju infiltrasi dan meningkatkan debit puncak dan besarnya volume air lokal. Sampai saat ini belum ditemukan bukti bahwa keberadaan atau ketidakterdapat tegakan hutan akan mempengaruhi laju infiltrasi sampai pada tingkat dapat mencegah atau menyebabkan banjir besar (Lull dan Reinhart, 1972). Untuk dapat memberikan pengaruh (meningkatkan) pada banjir di daerah hilir, penurunan infiltrasi yang terjadi di daerah hulu harus sangat besar dan meliputi wilayah yang cukup luas, suatu keadaan yang sayang sekali jarang terjadi.

3.4. Upaya Pengendalian Banjir

3.4.1. Pengelolaan Aliran Limpasan

Peristiwa banjir dalam pengertian umum adalah debit air sungai yang besarnya lebih dari biasanya akibat curahan hujan yang turun di hulu atau di suatu tempat tertentu terjadi terus menerus. Jika alur (palung) sungai tidak mampu lagi menampung debit air yang terjadi, maka kelebihan air akan melimpah dan menggenangi daerah sekitarnya. Banjir merupakan suatu peristiwa alam biasa, kemudian berkembang menjadi suatu masalah (bencana) jika air limpahannya mengganggu kehidupan, penghidupan dan keselamatan manusia.

Curah hujan yang jatuh di permukaan tanah perlu dikelola untuk dimanfaatkan melalui pengendalian limpasan permukaan, penyadapan air, peningkatan infiltrasi tanah, dan pengolahan tanah. Pemilihan tindakan yang harus dilakukan harus memperhatikan teknologi dan pengetahuan lokal yang telah ada dan dikuasai oleh petani.

Pengendalian aliran limpasan permukaan merupakan upaya memperpanjang waktu air tertahan di atas permukaan tanah dan meningkatkan jumlah air yang masuk ke dalam tanah. Prinsip fungsi hutan bisa dijadikan acuan yakni mengupayakan penutupan permukaan tanah dengan seresah produk biomassa agar

limpasan permukaan tanah bisa tertahan dipermukaan maupun masuk ke dalam permukaan tanah. Disamping itu dengan penutupan ini maka penguapan air dari permukaan tanah (evaporasi) juga berkurang. Prinsip demikian dikembangkan dalam bentuk aplikasi mulsa dan penggunaan pupuk organik. Teknik pengendalian limpasan sama dengan teknik konservasi tanah lainnya yakni penerapan terasering. Penanaman searah kontur, penanaman dalam strip (*strip cropping*) dan sistem pertanahan lorong.

Penyadapan atau pemanenan air dapat dilakukan dengan dasar pemikiran menampung air hujan dan limpasan permukaan sewaktu hujan dan pemanfaatan dikemudian hari. Dengan demikian kekurangan air karena ketidak pastian distribusi hujan maupun pada awal musim kemarau dapat diatasi. Beberapa bentuk sistem pemanenan air adalah pembuatan embung, sumur resapan, pengendali air, serta waduk.

Kapasitas infiltrasi tanah dapat ditingkatkan dengan memperbaiki struktur tanah. Salah satu cara yang efektif adalah dengan mencampur tanah dengan pupuk organik dan menutupi permukaan tanah dengan mulsa. Peningkatan infiltrasi secara langsung merupakan upaya pengendalian limpasan permukaan. Cara pengolahan tanah untuk menciptakan konservasi air antara lain pengolahan tanah minimum. Pengolahan tanah minimum dapat mengurangi pemadatan oleh alat pengolahan tanah serta menjadikan permukaan tanah relatif kasar sehingga memungkinkan infiltrasi air ke dalam tanah lebih besar.

Banjir yang terjadi akhir-akhir ini tidak bisa dibiarkan berlalu begitu saja. Penyelesaian efektif perlu diupayakan sesegera mungkin. Program penanggulangan yang diketengahkan bahkan kadang tidak efektif. Sementara tuntutan masyarakat semakin menguat untuk menyelesaikan masalah ini seiring dengan masalah banjir yang semakin sering terjadi. Berikut ini diketengahkan empat cara efektif dan berkesinambungan untuk pengendalian banjir diberbagai daerah. Secara umum seluruh kejadian banjir disebabkan oleh rendahnya kemampuan retensi tanah, berkurangnya retensi sepanjang alur sungai, kurangnya areal serapan di suatu kawasan dan *water culture* yang rendah. Oleh karena itu penyelesaian banjir yang efektif adalah dengan menggarap ke empat permasalahan ini secara serius (Maryono, 2005).

Cara pertama adalah mengadakan reboisasi secara masal di DAS baik di areal hutan maupu di areal pemukiman baik di desa maupun di kota. Penghijauan ini tidak

dapat ditunda-tunda lagi, karena pengurangan hutan di berbagai tempat di tanah air tidak dapat ditolerir lagi. Seruan berbagai pihak untuk merealisasikan, stop penebangan hutan, mulai reboisasi sekarang juga, harus segera dijadikan program nasional. Jika tidak bencana kekeringan musim kemarau, banjir musim hujan dan longsor akan semakin merajalela dan menghebat dimana-mana, karena kejadian ini sebenarnya penyebabnya adalah sama yaitu hancurnya ekologi DAS yang bersangkutan. Dalam upaya reboisasi ini perlu memperhitungkan berbagai faktor seperti tekanan penduduk dan kebutuhan air.

Cara kedua adalah dengan mempertinggi retensi sungai sendiri terhadap banjir. Maksudnya bagaimana banjir itu dapat disebar sepanjang sungai dari hulu sampai hilir sehingga yang terjadi bukan banjir besar di suatu titik tertentu, namun banjir kecil-kecil dengan pendek boleh terjadi di sepanjang alur sungai. Bahkan sungai boleh meluap sedikit di sepanjang sungai karena memang dibutuhkan oleh ekologi sungai untuk tetap eksis, di samping itu juga diperlukan dalam meningkatkan konservasi air di hulu atau di sepanjang sungai. Konsekuensi meninggikan daerah retensi sepanjang aliran sungai adalah menghindari metode penanggulangan banjir dengan cara pembuatan tanggul, sudetan, pelurusan dan perkerasan tebing. Karena cara ini justru mengurangi kemampuan alur sungai untuk menahan air banjir di sepanjang alur. Cara-cara ini justru akan menyebabkan banjir di suatu tempat tertentu terutama di bagian hilir, karena air menjadi semakin cepat ke hilir. Cara retensi sepanjang alur dapat dilakukan dengan mengembangkan daerah-daerah sepanjang alur sungai untuk tempat parkir air sebelum mengalir ke hilir. Perlu dikaji dan dicari areal yang memungkinkan untuk dikembangkan menjadi polder alamiah penampung sementara banjir. Semakin banyak areal parkir sepanjang alur sungai ini, semakin dapat mengurangi banjir secara signifikan.

Cara ketiga adalah dengan meningkatkan jumlah kolam retensi diberbagai kawasan baik di areal perkebunan, pertanian, permukiman, perkantoran, perkotaan dan pedesaan. Kolam konservasi ini perlu dibudayakan kepada semua lapisan masyarakat dan pemerintah, karena kolam konservasi dapat mencegah terjadinya banjir di bagian hilir secara signifikan. Kolam konservasi bisa dibuat secara sederhana dengan mencari daerah yang relatif rendah kemudian mengembangkannya menjadi kolam konservasi. Atau setiap pembukaan perumahan baru diwajibkan untuk membuat kolam konservasi di areal perumahan ini, sehingga air hujan dari permukiman ini tidak langsung dialirkan ke sungai, namun dapat ditam-

pung terlebih dahulu di kolam konservasi air sekaligus diresapkan ke tanah untuk konservasi air tanah. Besarnya kolam konservasi dapat dihitung berdasarkan prosentase besarnya tanah yang dipergunakan untuk perumahan. Demikian juga untuk areal perkebunan dan areal industri. Cara kolam konservasi ini sebenarnya merupakan koreksi total terhadap cara lama yang berprinsip pada pengatusan wilayah. Pengatusan wilayah atau drainase konvensional adalah upaya untuk mengalirkan air hujan secepatnya menuju ke sungai, cara ini sudah waktunya untuk ditinggalkan, karena pengendalian banjir bukan berarti pengatusan wilayah.

Cara keempat, pembentukan karakter sosio-hidrolik atau *water culture*. Sosio hidrolik adalah suatu pendekatan penyelesaian masalah keairan, lingkungan dan banjir dengan membangun kesadaran sosial masal, bagaimana masyarakat berperilaku terhadap air. Jika perilaku masyarakat terhadap air beserta seluruh komponen ekologisnya sudah benar secara masal maka penyelesaian banjir dan juga masalah lingkungan yang terkait akan semakin mudah. *Water culture* dalam masalah banjir juga bisa diartikan dengan kesiapan masyarakat yang terkena banjir atau yang sering terkena banjir (langganan banjir) untuk menguasai cara-cara penyelamatan barang atau jiwa, sehingga kerugian material dan jiwa bisa ditekan serendah-rendahnya. Untuk itu perlu penyuluhan, dialog dan usaha pembelajaran dengan masyarakat ini tentang cara-cara menanggulangi, menyelamatkan jiwa dan harta benda ketika banjir datang. Menurut pengalaman usaha pembelajaran penyelamatan ini bisa menekan kerugian akibat banjir. Sehubungan dengan besarnya masalah banjir, kekeringan dan kerusakan lingkungan di Indonesia, maka keempat upaya ini sebaiknya dilakukan secara paralel, baik penanganan masalah teknis, ekologi dan sosial.

3.4.2. Beberapa Konsep Pengendalian Banjir

Upaya pengendalian banjir telah dilakukan dengan berbagai cara dengan metode konvensional sampai teknologi modern. Permasalahan banjir di suatu tempat berbeda dengan tempat lain, maka upaya pengendalian yang diterapkan juga berbeda-beda. Suatu konsep pengendalian banjir yang berhasil dilakukan di suatu tempat belum tentu berhasil bila diterapkan di tempat yang lain. Berikut ini dipaparkan beberapa metode pengendalian banjir seperti metode konvensional dan metode drainase ramah lingkungan.

1. Metode Drainase Konvensional

Konsep drainase konvensional yang biasa diterapkan lebih berfungsi sebagai drainase pengatusan kawasan saja, yaitu upaya mengalirkan kelebihan air secepat-cepatnya menuju sungai terdekat. Konsep ini paling mudah diterapkan dan digunakan para praktisi dalam pembuatan master plan drainase. Pada daerah hulu dan hilir air hujan yang jatuh pada suatu wilayah diupayakan sesegera mungkin masuk dan mengalir langsung ke sungai terdekat. Pada kawasan permukiman dibuat saluran-saluran menuju sungai, sedangkan areal pertanian dan perkebunan dibangun saluran drainase menyusuri lembah memotong garis kontur dengan kemiringan terjal, supaya air hujan dapat secepatnya mengalir ke sungai menuju ke laut.

Kesalahan paling pokok dengan membuang air genangan secepat-cepatnya ke sungai, maka sungai akan menerima beban yang melebihi kapasitas saluran, sehingga meluap dan terjadi banjir. Kesempatan air meresap ke dalam tanah menjadi kecil, sehingga cadangan air tanah akan berkurang. Dampak dari pemakaian konsep drainase konvensional tersebut dapat mengakibatkan terjadi banjir di daerah hilir, longsor dan pelumpuran di daerah hulu sehingga akibat lanjutnya adalah kekeringan pada musim kemarau.

2. Metode drainase ramah lingkungan

Beberapa metode drainase ramah lingkungan seperti pembuatan kolam konservasi, sumur resapan, pembuatan polder, sudah banyak diterapkan di Indonesia dengan tujuan meningkatkan ketersediaan air dalam tanah. Kolam konservasi dibangun dengan membuat kolam-kolam air di perkotaan, permukiman, pertanian atau perkebunan terutama pada kawasan hulu. Fungsi pembuatan kolam konservasi adalah untuk menampung air hujan terlebih dahulu, kemudian meresap ke dalam tanah secara perlahan-lahan mengalir ke sungai. Kolam konservasi dapat dibuat secara sederhana dengan memanfaatkan daerah-daerah cekungan atau menyediakan tempat-tempat tertentu sebagai kolam yang dapat dikembangkan untuk tempat rekreasi. Bentuk lain dari kolam konservasi berupa parit-parit besar di kawasan pertanian dan perkebunan. Semua bentuk kolam konservasi berfungsi menampung air hujan, meresapkan air ke dalam tanah sebagai cadangan air pada musim kemarau.

Kolam konservasi tersebut dibuat secara kolektif dengan luasan tertentu. Metode lain yang dapat dilakukan secara perorangan berupa sumur-sumur resapan pada tiap rumah. Fungsi utama dari sumur resapan menampung air hujan supaya dapat meningkatkan cadangan air tanah.

Pembuatan polder dapat diterapkan dan dibuat secara sederhana bersifat alamiah pada bantaran-bantaran sungai. Polder dibuat sebagai upaya menampung limpahan air sungai (banjir), sehingga sebagian air akan mengalir ke polder dan akan keluar lagi bila banjir reda. Harapannya banjir di daerah hilir dapat dikurangi dan konservasi air terjaga. Menurut Maryono (2005) upaya pembuatan polder sedang dilakukan di negara Jepang dan Jerman secara besar-besaran sebagai upaya menahan air bagi konservasi musim kemarau dan menghindari banjir serta meningkatkan daya dukung ekologi wilayah keairan. Metode ini diusulkan untuk mengurangi banjir di kota-kota besar seperti Jakarta, Surabaya, Medan, dan Samarinda.

3. Konsep Ekohidrolik

Upaya pengendalian banjir yang biasa dikembangkan adalah melihat banjir sebagai bukti daya perusak air yang hebat, dengan penyelesaian konsep atau metode hidraulik murni. Apabila terjadi banjir diselesaikan dengan cara sudetan, pelurusan, pembuatan tanggul, normalisasi, dan pembuatan tanggul. Dampak dari metode konvensional ini adalah bahaya banjir yang lebih besar dan frekwensi kejadian yang lebih sering (Maryono, 2005).

Metode lain untuk menyelesaikan banjir adalah dengan ekohidrologi yakni gabungan ilmu ekologi dengan hidrologi, yakni mempelajari interaksi proses hidrologi dengan dinamika biologi atau ekosistem dalam beberapa kondisi spatial atau ruang dan temporal atau waktu (Sinar Harapan, 2005). Metode ini relatif masih baru di Indonesia, tetapi di negara-negara maju Eropa serta Jepang konsep ekohidrologi sudah pada taraf implementasi. Memandang Daerah Aliran Sungai (DAS) sebagai satu kesatuan ekosistem, sehingga memperlakukan sungai bagian hulu, tengah, maupun hilir harus dilihat dalam satu kesatuan, tidak terpisahkan oleh batas wilayah administrasi (one river one plan and one integrated management). Secara konkret penanggulangan banjir dengan ekohidrologi adalah:

- a. Konservasi hutan untuk meningkatkan retensi di hulu, reboisasi di bagian tengah dan hilir, membangun situ-situ atau embung almath.
- b. Penataan tata guna lahan untuk meningkatkan retensi dan konservasi, sehingga memperkecil limpasan langsung atau banjir.
- c. Menghilangkan pembangunan sudetan, pelurusan, penanggulan aliran karena akan memperkecil nilai retensi.
- d. Mempertahankan meander sungai untuk retensi dan mengurangi erosi akibat aliran sungai.
- e. Penanaman vegetasi atau renaturalisasi sempadan sungai yang telah rusak untuk memperbesar retensi.
- f. Meningkatkan kesadaran masyarakat untuk ikut dalam mengatasi banjir sebagai bagian dari sosio-hidrolik.

BAB IV. PERILAKU MASYARAKAT DALAM MENGELOLA LAHAN DAS

4.1. Perilaku masyarakat dalam mengolah lahan pertanian

Manusia dan lahan sangat erat kaitannya, manusia tinggal pada suatu tempat atau lahan dan melakukan berbagai aktivitas, tercermin dari perilakunya. Pada masyarakat sederhana, jaringan informasi belum lengkap dan kepentingan belum beragam, keputusan yang menyangkut hajat hidup masih ditentukan anggota masyarakat itu sendiri. Perilaku mereka itu tidak hanya '*self steering*' tetapi juga '*self-managing*'. Perilaku masyarakat nelayan di Maluku misalnya mematuhi tradisi "sistem sasi" yang melarang menangkap ikan pada bulan-bulan tertentu untuk memberi kesempatan ikan berkembang biak dan juga membatasi '*overfishing*'. Petani di Jawa "tempo doeloe" dengan kesadarannya sendiri melakukan nyabuk gunung (*green belt*) untuk menghindari bahaya erosi.

Dalam mempertahankan hidup, manusia harus menyelaraskan hidupnya dengan lingkungan alam dan sesamanya serta mengembangkan pola pikir dan nalar budi sesuai perkembangan alam dan teknologi. Manusia tidak dapat hidup sendiri, tetapi tergantung satu sama lain dalam kaitan moral, etika, komunikasi (Munandar, 1989). Pengembangan pola pikir dan nalar merupakan mekanisme kontrol bagi kelakuan dan tindakan-tindakan sosial manusia atau pola bagi kelakuan dan perilaku manusia.

Konsep perilaku masyarakat sulit ditemukan, karena sangat variatif dan tergantung pada lingkup kajiannya. Pada prinsipnya perilaku merupakan tingkah laku, tindak tanduk, dan perbuatan seseorang terhadap lingkungan di sekitarnya. Perilaku merupakan perwujudan dari partisipasi yang dilakukan dalam berbagai refleksi diantaranya dalam pengambilan keputusan, baik secara individual maupun secara institusional. Instrumen untuk aktualisasi perilaku dalam bentuk partisipasi masyarakat dalam pembangunan daerah didukung oleh Peraturan Menteri Dalam Negeri nomor: 9 tahun 1982 yang disebut sebagai sistem perencanaan bawah-atas atau *bottom-up top-down planning*.

Menurut Mitchel (1997) perilaku dan keterlibatan masyarakat dalam pengelolaan DAS sangat penting dilakukan karena: 1) dapat merumuskan persoalan dengan lebih efektif, 2) dapat memperoleh informasi dan pemahaman di luar jangkauan dunia ilmiah, 3) dapat merumuskan alternatif penyelesaian masalah

secara sosial yang dapat diterima masyarakat, dan 4) membentuk perasaan memiliki terhadap suatu perencanaan sehingga memudahkan dalam penerapan/ implementasi.

Perilaku/keterlibatan masyarakat dalam mengelola suatu lingkungan antara lain mencakup unsur pemahaman terhadap konsep pengelolaan lingkungan, sikap dan mengelola lingkungan, dan kinerja yang dilakukan masyarakat. Pemahaman (*comprehension*) adalah kemampuan untuk menangkap makna atau arti luas dari suatu konsep. Pendekatan pemahaman masyarakat merupakan tambahan bagi proses lebih mekanis dan sederhana, karena dalam pendekatan ini dipertanyakan hal-hal yang sedang terjadi disamping rasa suka atau tidak suka. Indikator utama pemahaman masyarakat dalam pengelolaan lingkungan adalah: 1) pengetahuan masyarakat dalam mengelola lingkungan, 2) penerapan pengetahuan, 3) pemecahan masalah dengan menggunakan pengetahuan yang mereka miliki, dan 4) evaluasi atas pemecahan masalah yang dilakukan (Siswanto, 2003).

Sikap dalam konteks pengelolaan lingkungan diartikan sebagai suatu kesadaran mental masyarakat untuk merespon lingkungannya. Sikap digambarkan sebagai kesiapan untuk selalu menanggapi cara tertentu dan menekan implikasi perilakunya. Menurut Sears, Freedman, dan Peplau (1998, dalam Siswanto, 2003) sikap adalah kesadaran mental dan taraf dari kesiapan yang diatur melalui pengalaman yang memberikan pengaruh dinamis atau terarah terhadap respon individu pada semua obyek atau situasi yang berkaitan dengannya. Sejalan dengan pandangan mengenai sikap, maka dimensi sikap masyarakat dalam mengelola lingkungan meliputi: (1) penerimaan, yaitu kesadaran dan keinginan dalam menerima stimulus atau gejala dari luar; (2) jawaban, suatu reaksi yang diberikan terhadap stimulus tersebut; (3) penilaian, berupa kesediaan seseorang dalam menerima suatu konsep; dan (4) internalisasi nilai merupakan keterpaduan dari seluruh sistem nilai yang dimiliki seseorang yang mempengaruhi pola kepribadian dan perilakunya.

Kinerja masyarakat (*social performance*) merupakan himpunan tindakan seseorang untuk berperanserta dalam kegiatan bersama masyarakat untuk menciptakan nilai tambah yang lebih bermanfaat bagi masyarakat dan lingkungan hidupnya (Stanley, 1981 dalam Edarwan, 2004). Dimensi utama kinerja masyarakat dalam mengelola lingkungan adalah: (1) ketrampilan dalam pengelolaan lingkungan seperti penataan, pemanfaatan, pengembangan, pemeliharaan, pemulihan, dan

pengendalian lingkungan; (2) kemampuan fisik menyangkut kekuatan, keharmonisan dan ketepatan; dan (3) gerakan fisik dalam melakukan ketrampilan sederhana sampai dengan ketrampilan yang kompleks.

4.2. Pendekatan Ekonomi dalam Mengelola Lahan

Program-program aktif tentang riset biofisik Sumberdaya Alam (SDA) telah dilakukan sejak lama. Tetapi perdebatan mengenai nilai SDA dan lingkungan pada saat ini muncul kepermukaan dengan semakin berkurangnya SDA, meningkatnya perubahan lingkungan, dan dampak pertumbuhan populasi terhadap lingkungan yang semakin besar, dan produksi sistem intensifikasi. Nilai-nilai tersebut berkaitan dengan SDA pada tiga hal yang mana menggambarkan ketertarikan dari tiga kelompok stakeholder untuk NRM (= *Natural Resource Management* = pengelolaan SDA). Nilai-nilai tersebut adalah: (i) potensial produktifitas dan berkurangnya SDA relatif (ekonomis), (ii) Nilai SDA oleh masyarakat (sosial), dan (ii) Potensi berkurangnya SDA yang tidak dapat pulih (ekologis) (Alex G. dan G. Steinacker, 1998).

Faktor yang pertama, SDA dinilai sebagai suatu dasar untuk produksi pertanian dan menyediakan pangan, bahan bakar dan serat untuk masyarakat, dan riset pengelolaan SDA telah lama mengemukakan pengelolaan SDA untuk memaksimalkan produksi dan produktifitas. Pentingnya nilai ekonomis SDA yang relatif terhadap sistem produksi pertanian meningkat seiring berkurangnya SDA tersebut. SDA menjadi 'alamiah' pada saat awal karena dianggap dapat diperoleh cuma-cuma dan hanya dipikirkan sebagai suatu faktor yang dieksploitasi dalam proses produksi. Sedangkan produser dapat memulai sistem pengelolaan dan investasi penelitian melalui penentuan produksi maksimum dan profit yang akan diperoleh setiap periode waktu, SDA yang digunakan (contohnya: produksi tanaman secara maksimum tanpa memperhitungkan penggunaan air dan lahan, produksi ternak secara maksimum tanpa memperhitungkan jumlah rumput yang dipakai, maksimum produksi hutan, dsb). Selanjutnya, karena SDA berkurang, maka yang perlu dilakukan adalah sistem pengelolaan untuk memaksimalkan produksi dan profit per unit SDA yang dipakai (contohnya: hasil per hektar, produksi per unit dari air irigasi). Dengan adanya intensifikasi produksi dan mengakibatkan tekanan pada dasar produksi, maka fokus mulai berpindah ke pengelolaan untuk memaksimalkan

produksi per unit dari SDA dengan basis keberlanjutan yang permanen. Jadi, bila SDA menjadi semakin sedikit, nilai dan kepentingannya dalam produksi semakin membesar (Alex G. dan G. Steinacker, 1998).

Faktor kedua yang mempengaruhi nilai SDA adalah nilai yang diterima oleh masyarakat. Walaupun banyak budaya meletakkan suatu nilai yang tinggi terhadap pemeliharaan SDA, atau sedikitnya tidak merusak SDA tersebut, wawasan lingkungan sebagai pokok produksi pertanian; masyarakat sekarang menempatkan nilai yang lebih besar terhadap faktor lingkungan. Nilai sosial dari SDA meningkat terus selama beberapa decade terakhir dengan dua alasannya. Alasan yang pertama, dalam kehidupan sosial terutama di negara industrialis, pendapatan, pendidikan dan waktu bersenang-senang meningkat dan disadari oleh masyarakat sebagai dasar sederhana untuk mempertahankan hidup. Dalam hal ini masyarakat memberikan penghargaan yang lebih besar terhadap pentingnya kehidupan hutan, udara dan air bersih, keindahan alami lahan. Yang kedua, dengan meningkatnya populasi dan sistem produksi intensifikasi, pengurangan SDA dan pengrusakan menjadi semakin banyak, kontaminasi pestisida, penggundulan hutan dan hilangnya species-species yang ada. Ini membuat pentingnya wawasan lingkungan secara luas dan menempatkan meningkatnya nilai sosial terhadap lingkungan. Salah satu manifestasi yang nampak adalah menyalahkan pertanian dan riset pertanian untuk merusak lingkungan. Penelitian Pengelolaan SDA (*Natural Resources Management Research* = NRMR) jelas diperlukan untuk menjawab tantangan ini (Alex G. dan G. Steinacker, 1998).

Kemungkinan rusaknya sistem ekologi dan hilangnya SDA atau kualitas SDA adalah faktor ketiga yang mempengaruhi penilaian SDA. Beberapa SDA berpotensi tidak dapat pulih seperti misalnya hilangnya species-species tertentu yang mengakibatkan kehilangan keragaman hayati yang tak terhitung nilainya. Tidak dapat pulih sesaat juga merupakan faktor utama di hutan, padang rumput ataupun badan-badan air yang dapat menjadi semakin tidak dapat pulih untuk memberikan keuntungan fisik maupun estetika dari SDA ini. Sistem produksi pertanian yang tidak berkelanjutan dapat merusak produksi yang tidak dapat pulih serta sistem pertanian tidak lagi memberikan dasar kestabilan ekonomi atau standar hidup yang cukup untuk produsen primer tersebut (Alex G. dan G. Steinacker, 1998).

Integrasi antara keuntungan ekonomi, sosial dan ekologi memberikan kesulitan juga bagi NRMR. Sistem pertanian selalu akan mempunyai dampak terhadap SDA tetapi karena sistem ini sangat kompleks dan periode waktu, maka pemahaman dan pengukuran akan perubahan tersebut tidaklah mudah. Untuk membuat suatu perbandingan dan mengakses alternatif yang dapat muncul, konsekuensi SDA terhadap produksi pertanian harus dinilai secara ekonomi (Alex G. dan G. Steinacker, 1998).

Sistem pertanian selalu akan mempunyai dampak terhadap SDA tetapi karena sistem ini sangat kompleks dan periode waktu, maka pemahaman dan pengukuran akan perubahan tersebut tidaklah mudah. Untuk membuat suatu perbandingan dan mengakses alternatif yang dapat muncul, konsekuensi SDA terhadap produksi pertanian harus dinilai secara ekonomi (Alex G. dan G. Steinacker, 1998).

Untuk menjamin teknologi-teknologi konservasi tanah yang akan dan telah diterapkan pada suatu daerah agar sustain memerlukan suatu penilaian. Demikian halnya dengan penilaian degradasi lahan, misalnya erosi tanah. Penilaian tidak hanya dilakukan secara biofisik saja, namun penilaian secara ekonomi juga perlu diperhatikan. Penilaian secara ekonomis terhadap teknologi-teknologi konservasi tanah, akan memberikan gambaran kelayakan teknologi yang digunakan secara ekonomis, baik teknologi yang akan diterapkan, maupun teknologi yang telah diterapkan. Selain itu penilaian ini dapat memberikan gambaran tentang keuntungan-keuntungan yang diberikan dari penerapan teknologi konservasi tanah. Hal ini dilakukan agar teknologi-teknologi konservasi tanah yang ada dapat berkelanjutan dan dikembangkan oleh masyarakat setempat.

Kaitanya dengan penentu atau pengambil kebijakan, dan juga untuk setiap stakeholder, penilaian teknologi konservasi dan erosi dapat memberikan gambaran-gambaran perhitungan yang lebih mudah dipahami dengan mengkonversi nilai-nilai yang ada dalam satuan keuangan. De Graaff J. (2001) mengemukakan bahwa selama nilai keuangan dapat dihubungkan dengan atribut-atribut criteria konservasi tanah dan air. Hal ini akan memberikan pengaruh penting dalam mempertahankan keberlanjutan suatu sistem yang pertanian yang ada. Penggunaan Cost-Benefit Ratio yang disertai dengan analisis multi criteria dapat dipakai dalam tahap awal penyeleksian teknologi konservasi tanah dan air yang potensial.

Demikian halnya dengan penilaian degradasi lahan (dalam hal ini erosi) juga perlu dilakukan. Penilaian ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang

kehilangan sumberdaya yang terjadi karena adanya erosi. Clark R., (1998) mengemukakan bahwa pengaruh secara ekonomi dari erosi tanah dan keberlanjutan teknologi-teknologi konservasi tanah dinilai melalui penilaian erosi tanah. Adopsi yang rendah teknologi konservasi tanah menyebabkan beberapa teknologi yang ada mungkin tidak memberikan keuntungan. Dua pendekatan yang digunakan dalam studi kasus di Parawella, Srilangka, yaitu nilai sumberdaya dan produksi yang dapat digunakan untuk menduga biaya erosi tanah dan kelangsungan teknologi-teknologi konservasi tanah secara ekonomi.

4.3. Peranan Kelembagaan Sosial Ekonomi dalam Mengelola Lahan

Secara ringkas permasalahan utama dalam pengelolaan DAS dan konservasi tanah berkaitan dengan masalah kelembagaan berupa : (1) perbedaan sistem nilai (value) masyarakat berkenaan dengan kelangkaan sumberdaya, sehingga penanganan persoalan di Jawa berbeda dengan di luar Jawa, (2) orientasi ekonomi yang kuat tidak diimbangi komitmen terhadap perlindungan fungsi lingkungan yang berimplikasi pada munculnya persoalan dalam implementasi tata ruang, (3) persoalan laten berkaitan dengan masalah agraria dan (4) kekosongan lembaga/instansi pengontrol pelaksanaan program. Menurut Asdak, (1999), dalam keterkaitan biofisik wilayah hulu-hilir suatu DAS, hal-hal tersebut di bawah ini perlu menjadi perhatian.

Kelembagaan yang efektif seharusnya mampu merefleksikan keterkaitan lingkungan biofisik dan sosek dimana lembaga tersebut beroperasi. Apabila aktivitas pengelolaan di bagian hulu DAS akan menimbulkan dampak yang nyata pada lingkungan biofisik dan/atau sosek di bagian hilir dari DAS yang sama, maka perlu adanya desentralisasi pengelolaan DAS yang melibatkan bagian hulu dan hilir sebagai satu kesatuan perencanaan dan pengelolaan.

Externalities, adalah dampak (positif/negatif) suatu aktivitas/program dan/atau kebijakan yang dialami/dirasakan di luar daerah dimana program/kebijakan dilaksanakan. Dampak tersebut seringkali tidak terinternalisir dalam perencanaan kegiatan. Dapat dikemukakan bahwa negative *externalities* dapat mengganggu tercapainya keberlanjutan pengelolaan DAS bagi: (1) masyarakat di luar wilayah kegiatan (*spatial externalities*), (2) masyarakat yang tinggal pada periode waktu

tertentu setelah kegiatan berakhir (*temporal externalities*), dan (3) kepentingan berbagai sektor ekonomi yang berada di luar lokasi kegiatan (*sectoral externalities*).

Menyadari adanya hal yang bersifat “*externalities*” tersebut maka pengelolaan sumberdaya alam dapat dikatakan baik apabila keseluruhan biaya dan keuntungan yang timbul oleh adanya kegiatan pengelolaan tersebut dapat ditanggung secara proporsional oleh para aktor (organisasi pemerintah, kelompok masyarakat atau perorangan) yang melaksanakan kegiatan pengelolaan sumberdaya alam (DAS) dan para aktor yang akan mendapatkan keuntungan dari adanya kegiatan tersebut.

Peran strategis DAS sebagai unit perencanaan dan pengelolaan sumberdaya semakin nyata pada saat DAS tidak dapat berfungsi optimal sebagai media pengatur tata air dan penjamin kualitas air yang dicerminkan dengan terjadinya banjir, kekeringan dan tingkat sedimentasi yang tinggi. Dalam prosesnya, maka kejadian-kejadian tersebut merupakan fenomena yang timbul sebagai akibat dari terganggunya fungsi DAS sebagai satu kesatuan sistem hidrologi yang melibatkan kompleksitas proses yang berlaku pada DAS. Salah satu indikator dominan yang menyebabkan terganggunya fungsi hidrologi DAS adalah terbentuknya lahan kritis. Dari hasil inventarisasi lahan kritis menunjukkan bahwa terdapat $\pm 14,4$ juta Ha di luar kawasan hutan dan $\pm 8,3$ juta Ha di dalam kawasan hutan (Pasaribu, 1999).

BAB V. MODEL KETERSEDIAAN AIR UNTUK PENGELOLAAN DAS

5.1. Pemodelan Hidrologi

Model merupakan gambaran abstrak tentang suatu sistem, dimana hubungan antara peubah-peubah sistem digambarkan sebagai hubungan sebab akibat. Walaupun penggunaan model sudah jelas sangat berguna tetapi manfaatnya sangat tergantung pada persyaratan sebagai berikut: (a) model harus merupakan gambaran yang sah (representatif) terhadap sistem yang nyata, jadi harus realistis dan informatif. Model yang tidak sah akan memberikan informasi yang sangat menyimpang dari kenyataan, sehingga informasi yang diberikan menjadi keliru, (b) model harus cukup sederhana agar mudah dalam pengelolaannya, (c) karena merupakan distorsi dari sistem yang sebenarnya, model tersebut harus dipergunakan secara teliti dan seksama (Soerianegara, 1978).

Keuntungan menggunakan model dalam suatu penelitian adalah: (a) memungkinkan dilakukannya penelitian secara multi disiplin dalam ruang lingkup yang luas, (b) dapat dipakai untuk eksperimentasi terhadap suatu sistem, tanpa memberikan perlakuan yang mengganggu sistem yang sebenarnya, (c) mampu menentukan tujuan pengelolaan dan perbaikan terhadap sistem yang diteliti, (d) dapat digunakan untuk perkiraan kinerja dan keadaan sistem yang akan datang.

Gottfried (1984) menyatakan bahwa simulasi merupakan aktivitas penarikan kesimpulan tentang kinerja sistem melalui proses penelaahan kinerja model yang sah, dimana hubungan sebab akibatnya dapat mewakili sistem yang sebenarnya. Kegiatan pokok dalam simulasi adalah pembuatan model dan eksperimentasi. Secara garis besar, tahapan simulasi adalah: (a) pembentukan spesifikasi model. Model-model tersebut harus mempunyai komponen-komponen, peubah, dan bentuk hubungan, sehingga dapat mewakili sistem yang sebenarnya. (b) pengumpulan dan pengolahan data. Data yang dikumpulkan harus dapat dipercaya kebenarannya. Perkiraan tentang sistem akan baik jika datanya valid. (c) validasi model matematika. Menguji model yang digunakan apakah dapat mewakili sistem yang sebenarnya. (d) eksperimentasi model. Memberikan perlakuan tertentu pada model yang valid, bertujuan untuk memperkirakan kinerja sistem nyata berdasarkan kinerja model tersebut.

Model simulasi adalah gambaran abstrak dari suatu sistem dunia nyata yang memiliki kelakuan-kelakuan seperti dunia nyata dalam hal-hal tertentu (Manetsch dan Park, 1979). Gambar tersebut disederhanakan dari bentuk aslinya untuk berbagai tujuan penelitian. Model juga merupakan suatu hipotesis yang harus diuji kebenarannya sehingga memberikan gambaran tentang suatu sistem. Hillel (1977) mengartikan model simulasi sebagai teknik numerik untuk menyatakan percobaan hipotetik secara kuantitatif ke dalam model matematik tentang partisipasi dan sifat sistem dinamik.

Menurut Hillel (1977), analisis sistem diartikan sebagai suatu cara yang digunakan untuk mengorganisasikan data dan teori secara logis yang mengikuti dinamika berbagai sistem ke dalam model-model. Kemudian model-model tersebut diuji untuk memperoleh kesahihan dan perbaikan model, sehingga model tersebut dapat digunakan untuk menduga dinamika yang akan terjadi pada sistem. Sedangkan tujuan dari analisis sistem itu sendiri adalah untuk mengerti dan mengenali proses-proses yang terjadi pada suatu sistem (Reichle, 1970 dalam Kartiwa, 1992). Menurut Mize dan Cox (1986) dalam Murdiyarso (1979), sistem merupakan proses rumit yang ditandai oleh banyak lintasan timbal balik dan saling mempengaruhi, sedangkan menurut Menetsch dan Park (1973) sistem adalah suatu perangkat elemen-elemen yang saling berhubungan atau berkaitan yang diorganisasikan untuk mencapai suatu tujuan.

Model hidrologi adalah sebuah sajian sederhana dari sebuah sistem hidrologi yang kompleks. Terdapat beberapa macam klasifikasi yang dapat digunakan. Secara umum model dapat diklasifikasikan dari berbagai aspek. Klasifikasi model dibedakan menjadi model ikonik, model analog, dan model matematik. Klasifikasi model yang lain berupa model stokastik dan model deterministik, model empirik, dan model konseptual.

Pemodelan hidrologi untuk perhitungan limpasan telah banyak dikembangkan sejak tahun 1960-an, mulai dari yang sangat sederhana hingga pemodelan yang rumit. Pemodelan yang rumit ini umumnya tersusun dari sub-sub model yang masing-masing menerangkan proses-proses hidrologi (Hadi, 2003). Model tentang pengalihragaman hujan menjadi aliran yang paling sederhana dan sampai saat ini masih digunakan di Indonesia maupun negara lain yaitu merode Rasional. Model Rasional pertamakali dikenalkan oleh Kuichling (1889, dalam Chow 1964 dan

Sobriyah, 2003). Metode ini berupa rumus empirik yang menghubungkan antara debit banjir maksimum dengan koefisien aliran, intensitas hujan, dan luas DAS, model ini dikembangkan dan berlaku untuk DAS dengan luasan kecil (kurang dari 2,5 km²).

Di Indonesia, pengembangan model pengalihragaman hujan menjadi aliran telah banyak dilakukan, antara lain Sri Harto mengembangkan model perhitungan hidrograf satuan sintetik Gama I, Darmadi (1990) mengembangkan hidrograf satuan sintetik yang merupakan fungsi kontinyu berdasar kondisi fisik DAS dan berlaku untuk DAS kecil.

Crawford dan Linsley (dalam Viessman, et, al, 1977) mengembangkan *Stanford Watershed Model IV* (SWM IV) untuk mensimulasikan transformasi hujan menjadi aliran pada suatu DAS. Model ini telah dikenal cukup luas. Struktur model SWM IV cukup lengkap dengan berbagai fungsi penting menyangkut proses intersepsi, infiltrasi, evapotranspirasi, aliran limpasan, aliran antara, lapisan tanah atas, lapisan tanah bawah, zone air tanah, dan penelusuran aliran. Komponen penelusuran aliran dibagi dua yaitu penelusuran aliran limpasan dan penelusuran aliran sungai. Hujan yang jatuh akan didistribusikan menjadi aliran limpasan (*over land flow*), aliran antara (*inter flow*), dan aliran dasar (*groundwater flow*). Jumlah total debit aliran yang masuk ke sungai merupakan kombinasi dari ketiga jenis aliran tersebut. Data masukan (input data) yang diperlukan berupa data hujan jam-jaman, evapotranspirasi potensial harian, dan parameter DAS. Model SWM IV memerlukan data yang lengkap, model ini tidak dapat diterapkan pada DAS dengan ketersediaan data kurang lengkap.

Berdasarkan proses pengalihragaman hujan menjadi aliran dapat dibuat model-model konseptual berdasarkan algoritma dengan persamaan tertentu. Pengalihragaman hujan menjadi aliran melalui beberapa fase tahapan berupa intersepsi, infiltrasi, evapotranspirasi, perkolasi, simpanan air, aliran air dalam tanah, dan aliran air di permukaan tanah. Proses pergerakan air tersebut mencerminkan ketersediaan air sehingga dinamakan model ketersediaan air.

5.2. Pembuatan model ketersediaan air untuk pengelolaan DAS

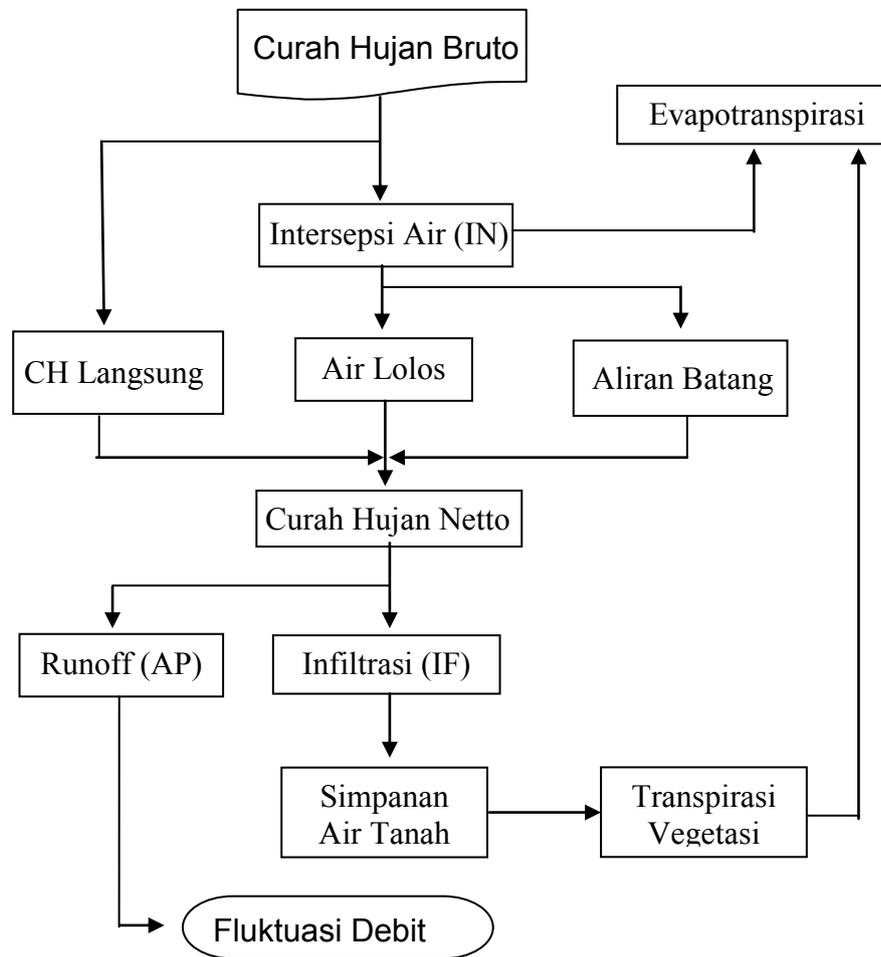
Sebagai sistem hidrologi, DAS mempunyai karakteristik spesifik serta berkaitan erat dengan unsur utama seperti jenis tanah, tataguna lahan, topografi, kemiringan dan panjang lereng. Karakteristik tersebut dalam merespon curah hujan yang jatuh dapat memberikan pengaruh terhadap besar kecilnya evaporasi, infiltrasi, perkolasi, aliran permukaan, kandungan air tanah dan aliran sungai. Diantara faktor-faktor yang berperan dalam menentukan sistem hidrologi di atas, faktor tataguna lahan, kemiringan dan panjang lereng dapat direkayasa oleh manusia.

Proses Dinamik daur hidrologi pada DAS yang mencerminkan pergerakan air bersifat tetap, sehingga dapat ditiru dan dibuat model pergerakan air. Tahap selanjutnya dibuat pemodelan hidrologi seperti model ketersediaan air, dengan menyusun algoritma pergerakan air menjadi bentuk model yang diwujudkan dalam program *software*. Model ketersediaan air dibuat untuk meniru proses pengalihragaman hujan menjadi aliran, meliputi curah hujan sebagai input utama model; intersepsi; infiltrasi; evapotranspirasi; cadangan air tanah; dan aliran permukaan (runoff) sebagai output model.

Ketersediaan air mencerminkan keadaan kondisi air, tentang ada atau tidak adanya air di dalam sistem DAS. Pergerakan air merupakan suatu rangkaian proses hidrologi yang merupakan siklus yang terus berjalan dari waktu ke waktu, dimulai dari hujan yang turun ke atas vegetasi (*intersepsi*) dan tanah, sebagian meresap ke dalam tanah (*infiltrasi*), sebagian air hujan mengalir sebagai aliran permukaan di atas tanah, bergabung dengan sungai-sungai lain menuju ke laut. Selanjutnya air di laut maupun air yang tergenang di permukaan tanah akan bersama-sama mengalami proses penguapan (*evaporasi*) dan penguapan dari vegetasi (*transpirasi*), selanjutnya proses penguapan air dari permukaan tanah dan vegetasi disebut *evapotranspirasi*.

Air hujan yang turun pada sistem DAS merupakan bentuk masukan, akan mengalami berbagai proses pergerakan air dalam DAS, yang akhirnya menjadi aliran limpasan sebagai bentuk keluaran (output). Proses yang terjadi didalam sistem DAS dipelajari dan dengan membuat algoritma ketersediaan air dalam sistem DAS. Sistem ini terdiri dari komponen vegetasi, komponen tanah, dan komponen sungai. Komponen vegetasi diidentifikasi menurut jenis penggunaan lahan yang ada berupa perkebunan, sawah, tegalan, dan permukiman. Semua komponen saling

berinteraksi dan menentukan proses-proses di dalam sistem. Hasil dari proses tersebut adalah output berupa debit aliran sungai.



Gambar 2. Diagram Alir Model

Proses pergerakan air dari hujan menjadi aliran akan disusun menggunakan algoritma yang telah ditentukan dengan menggunakan rumus-rumus tertentu, sehingga menjadi software yang siap digunakan dan digabung dalam model pengendalian banjir. Secara garis besar rancangan diagram alir proses yang terjadi dalam siklus hidrologi disusun dalam bentuk model hidrologi (lihat Gambar 2). Algoritma penyusunan sub model ketersediaan air menggunakan bahasa komputer, berisi rumus dasar untuk pembuatan program K TSAIRDAS.EXE. Langkah kerja penyusunan model ketersediaan air menggunakan software dasar *Delphi versi 7*. Selanjutnya algoritma ketersediaan air yang telah disusun sebagai sub model hidrologi dalam sistem DAS Way Seputih Hulu dirancang dalam bentuk software

model ketersediaan air dan diberi nama Model K TSAIRDAS.EXE (Amin, 2008).

Software dapat dijalankan pada semua.

Berikut disajikan rumus dasar pembentukan model ketersediaan air

1. Curah Hujan = CH, yang jatuh pada tiap penggunaan lahan (PL) bulan (i)

$$CH_{Hi} = L_H / L_{DAS} \times CH_{DASi} \times IK_H$$

$$CH_{Ki} = L_K / L_{DAS} \times CH_{DASi} \times IK_K$$

$$CH_{Si} = L_S / L_{DAS} \times CH_{DASi} \times IK_S$$

$$CH_{Ti} = L_T / L_{DAS} \times CH_{DASi} \times IK_T$$

$$CH_{Pi} = L_P / L_{DAS} \times CH_{DASi} \times IK_P$$

Keterangan:

$CH_{Hi}, CH_{Ki}, CH_{Si}, CH_{Ti}, CH_{Pi}$ = curah hujan pada lahan hutan, kebun, sawah, tegalan, dan permukiman, pada bulan ke - i.

L_H, L_K, L_S, L_T, L_P = luas lahan hutan, kebun, sawah, tegalan, permukiman

L_{DAS} = luas DAS

CH_{DASi} = curah hujan rata-rata DAS pada bulan ke - i

$IK_H, IK_K, IK_S, IK_T, IK_P$ = nilai indeks kerapatan tajuk pada lahan hutan (0,9), kebun (0,7), sawah (0,6), tegalan (0,4), dan permukiman (0,5)

2. Laju Penumpukan Biomassa (kandungan air fisiologis) (LB)

$$LB_{Hi} = NPP_H / 1000 \times 1,41198 \times L_H / L_{DAS} \times ETP_i / ETP$$

$$LB_{Ki} = NPP_K / 1000 \times 1,41198 \times L_K / L_{DAS} \times ETP_i / ETP$$

$$LB_{Si} = NPP_S / 1000 \times 1,41198 \times L_S / L_{DAS} \times ETP_i / ETP$$

$$LB_{Ti} = NPP_T / 1000 \times 1,41198 \times L_T / L_{DAS} \times ETP_i / ETP$$

$$LB_{Pi} = NPP_P / 1000 \times 1,41198 \times L_P / L_{DAS} \times ETP_i / ETP$$

Keterangan:

LB_{Hi} = Laju penumpukan biomassa pada pola tata guna lahan bulan ke-i

NPP_H = produktivitas primer neto bagi vegetasi

L_H, L_K, L_S, L_T, L_P = luas lahan hutan, kebun, sawah, tegalan, dan permukiman

L_{DAS} = luas DAS

ETP = evapotranspirasi potensial bulan ke i

3. Evapotranspirasi Potensial (ETP)

$$E = F1 R (1 - r) - F2 (0,1 + 0,9 S) + F3 (k + 0,01 w)$$

Dengan nilai $F1, F2, F3$ sebagai berikut:

$$F1 = f(T;S) = A (0,18 + 0,55 S) / (A + 0,27)$$

$$F2 = f(T;S) = AB (0,56 - 0,092 \sqrt{ed}) / (A + 0,27)$$

$$F3 = f(T;h) = (0,27) (0,35) (ea - ed) / (A + 0,27)$$

Keterangan:

E = evapotranspirasi (mm/hr)

T = temperatur udara rata-rata ($^{\circ}C$)

S = rasio penyinaran matahari (%)

H = kelembaban relatif rata-rata (%)

W = kecepatan angin pada ketinggian 2 m (mil/hr)

A = slop kurva tekanan uap air, sebagai fungsi dari T

B = radiasi benda hitam, sebagai fungsi dari T (mm/hr)

ea = penyerapan tekanan uap air, rata-rata temperatur udara dalam mm Hg

ed = tekanan uap air sebenarnya (mm Hg) = $h \times ea$

R = radiasi sinar matahari di permukaan horisontal atmosfer (mm H₂O/hr)

r = koefisien refleksi, untuk daerah aliran sungai lebih kurang 25%
 k = koefisien kerataan permukaan yang berevapotranspirasi, DAS $k = 1$
 nilai R , A , B dan ea dilihat pada tabel

4. Evapotranspirasi Aktual (ETA)

Untuk $CH > ETP$ maka $ETA = ETP$

Untuk $CH \leq ETP$ maka $ETA = CH + \text{perubahan CAD} (\Delta CAD)$

5. Cadangan Air Tanah (CAT)

$$CAT_i = CATM * k^{AAHP_i}$$

$$k = (P_0 + P_1) / CATM$$

Keterangan:

CAT_i = cadangan air tanah bulanan ke- i

$CATM$ = cadangan air tanah maksimum, selisih kadar air pada kapasitas lapang (pF 2,54) dengan kadar air pada titik layu permanen (pF 4,2)

$AAHP_i$ = akumulasi potensi penguapan sampai bulan ke- i

P_0 = 1,000412351

P_1 = - 1,073807306

6. Intersepsi (IT)

$$IT_{Hi} = 0,04 * ni + 0,18 CH_{Hi}$$

$$IT_{Ki} = 0,004 * ni + 0,18 CH_{Ki}$$

$$IT_{Si} = 0,05 * ni + 0,09 CH_{Si}$$

$$IT_{Ti} = 0,004 * ni + 0,11 CH_{Ti}$$

$$IT_{Pi} = 0,003 * ni + 0,15 CH_{Pi}$$

$$TIT_i = IT_{Hi} + IT_{Ki} + IT_{Si} + IT_{Ti} + IT_{Pi}$$

Keterangan:

$IT_{Hi}, IT_{Ki}, IT_{Si}, IT_{Ti}, IT_{Pi}$ = intersepsi pada lahan hutan, kebun, sawah, tegalan, dan permukiman, pada bulan ke- i .

$CH_{Hi}, CH_{Ki}, CH_{Si}, CH_{Ti}, CH_{Pi}$ = curah hujan pada lahan hutan, kebun, sawah, tegalan, dan permukiman, pada bulan ke- i .

ni = jumlah hari hujan dalam bulan ke- i

7. Alihan Vegetasi ke Tanah (AVT) – (Infiltrasi)

$$AVT_{Hi} = CH_{Hi} - IN_{Hi}$$

$$AVT_{Ki} = CH_{Ki} - IN_{Ki}$$

$$AVT_{Si} = CH_{Si} - IN_{Si}$$

$$AVT_{Ti} = CH_{Ti} - IN_{Ti}$$

$$AVT_{Pi} = CH_{Pi} - IN_{Pi}$$

$$TAVT_i = AVT_{Hi} + AVT_{Ki} + AVT_{Si} + AVT_{Ti} + AVT_{Pi}$$

8. Defisit (D)

$$D = ETP - ETA$$

9. Surplus (S)

$$S_i = AT_i - \Delta CADI$$

$$AT = \text{AIR TERSEDIA} = ATST$$

= Selisih antara curah hujan dengan intersepsi dan evapotranspirasi

10. Limpasan / Runoff (R)

$$R_i = 50 \% (S_i + R_{i-1})$$

Keterangan:

R_i = Runoff pada bulan ke-i

S_i = Surplus pada bulan ke-i

$R_{(i-1)}$ = Runoff pada bulan ke i-1

BAB VI. KONSERVASI AIR TANAH

6.1. Pengertian Konservasi Air

Konservasi air merupakan upaya mengoptimalkan masuknya air ke dalam tanah, sehingga air dapat masuk mengisi rongga-rongga dalam tanah dan tanah mampu menyimpan air. Beberapa upaya dapat dilakukan untuk mengemas sebidang tanah hingga mampu meresapkan air ke dalam tanah secara maksimal.

Konsep pembangunan yang berkelanjutan menjadikan konservasi sumberdaya alam sebagai pusat perhatian. Konsep dasar konservasi adalah ‘jangan membuang-buang sumberdaya alam’, sedangkan konsep dasar konservasi air adalah ‘jangan membuang-buang sumberdaya air’. Pada awalnya konservasi air diartikan sebagai menyimpan air dan menggunakannya untuk keperluan yang produktif kemudian hari. Konsep ini disebut konservasi segi suplay. Perkembangan selanjutnya konservasi lebih mengarah kepada pengurangan atau pengefisienan penggunaan air, dan dikenal sebagai konservasi sisi kebutuhan.

Konservasi air yang baik merupakan gabungan dari kedua konsep tersebut, yaitu menyimpan air dikala berlebihan dan menggunakannya sesedikit mungkin untuk keperluan yang produktif. Pengertian konservasi air domestik berarti menggunakan air sesedikit mungkin untuk mandi, mencuci, menggelontor toilet, masak, dan jenis penggunaan air untuk rumah tangga lainnya. Konservasi air industri berarti pemakaian air sesedikit mungkin untuk menghasilkan suatu produk. Konservasi air pertanian pada dasarnya berarti penggunaan air sesedikit mungkin untuk menghasilkan hasil pertanian yang sebanyak-banyaknya (Suripin, 2002).

Konservasi air penting menjadi artinya bagi kelangsungan kehidupan suatu bangsa, khususnya untuk daerah dimana terjadi defisit airtanah yaitu di daerah kering (*arid*) dan semi kering (*sub humid*). Konservasi air di tujukan tidak hanya meningkatkan volume airtanah, tetapi juga meningkatkan efisiensi penggunaannya, sekaligus memperbaiki kualitasnya sesuai dengan peruntukannya. Konservasi air mempunyai efek ganda, diantaranya mengurangi biaya kerugian akibat banjir, mengurangi biaya pengolahan air, mengurangi ukuran jaringan pipa, dan lain sebagainya. Dengan demikian, tidak meragukan lagi bahwa konservasi air mendapat perhatian yang besar. Dalam kurun dua dekade terakhir, konservasi air telah menjadi kunci untuk meningkatkan suplai air bersamaan dengan peningkatan manajemen kebutuhan.

6.2. Upaya Konservasi Airtanah

Penurunan kualitas airtanah dapat disebabkan oleh beberapa hal. Airtanah yang tercemar dapat berasal dari berbagai sumber misalnya sistem buangan kotoran, penyemprotan pestisida di daerah pertanian, dan sebagainya. Kalau pengotoran tersebut masuk pada daerah pengisian (*recharge area*) dalam jumlah sangat besar maka luas wilayah yang terkena pengotoran akan sangat luas sesuai dengan aliran airtanahnya. Apalagi daerahnya terdiri atas material kasar dan bercelah. Jenis pengotoran dan cara penanggulangannya tidak dapat dilakukan dengan penyelidikan sesaat, akan tetapi harus secara terus menerus dilakukan monitoring. Upaya pencegahan harus dilakukan pengaturan misalnya tempat buangan kotoran dan macam buangan yang diperbolehkan dibuang.

Sumber-sumber pengotoran airtanah yang besar pengaruhnya antara lain,

1. Penghamburan dan faktor-faktor penyebab penurunan kadar kualitas airtanah.
2. Penyusupan air asin.
3. Kotoran air selokan dan endapan Lumpur.
4. Pertanian.
5. Pertambangan.
6. Tempat penampungan bawah tanah dari kotoran cair.
7. Pengotoran aliran air permukaan.
8. Kebocoran pipa penyaluran.
9. Lagon dan daerah evaporasi.
10. Makam dan sebagainya.

Pengotoran airtanah juga dapat di pandang dari tiga hal berdasar sifat fisika, kimia, dan biologi. Pengotoran fisika meliputi warna, kekeruhan, bau, rasa dan suhu. Warna yang terjadi pada airtanah mencerminkan kadar oksigen, secara umum warna diakibatkan adanya material atau mineral yang ada dalam airtanah baik berupa suspensi maupun yang terlarut. Pengotoran yang menyebabkan berbau dan berasa di sebabkan oleh zat-zat, gas-gas terlarut, bakteri, mineral pada umumnya besi atau sulfur. Bau dan rasa kadang di sebabkan oleh sistem distribusi pipa besi yang bereaksi dengan airtanah sehingga menyebabkan tumbuhnya bakteri besi (*crenothyx*). Pengotoran juga dapat berupa keruh pada airtanah yang di sebabkan oleh material suspensi atau koloid misalnya lempung, lanau, atau mikro organisme, reaksi kimia ataupun akibat sistem distribusi perpipaan. Suhu sebenarnya bukan indikasi adanya pengotoran airtanah akan tetapi pengaruh suhu terhadap lingkungan pada airtanah di setiap

tempat dapat berbeda. Suhu ini akan mempengaruhi faktor lainnya misalnya berat jenis, kekentalan dan sebagainya.

Pengotoran kimia meliputi kandungan ion, kegaraman, keasaman, daya hantar listrik, dsb., yang sering menyebabkan kotoran kimia adalah ion nitrat, nitrat banyak di jumpai dalam siklus bakteri nitrogen sebagai fase oksidasi. Perubahan amoniak menjadi nitrat sering dikenal sebagai nitrifikasi sehingga tanah menjadi kaya bakteri terutama nitrobakteriacea. Nitrat yang terdapat pada airtanah merupakan hasil pelarutan dari tanah yang kemudian dibawa masuk sehingga ion-ion nitrat terkumpul pada permukaan tanah. Nitrat ini merupakan petunjuk adanya material organik dalam airtanah. Pengotoran garam misalnya kalsium karbonat, magnesium bikarbonat, yang menyebabkan airtanah bersifat alkalis atau keras. Garam sodium sulfat menyebabkan beruap dan membuih, sodium klorida menyebabkan airnya mempunyai rasa, garam besi dan mangan menyebabkan airnya berwarna, korosif, keras, dan mempunyai rasa. Garam yang berasal dari tumbuh-tumbuhan menyebabkan berwarna dan asam.

Usaha konservasi air harus selalu dilakukan secara holistik. Konservasi air merupakan masalah bersama, dan oleh karenanya permasalahan konservasi air hanya dapat diselesaikan jika semua peduli dan ikut berperan aktif di dalamnya. Pada dasarnya manusia berpotensi merusak air di bumi sekaligus juga berpotensi memperbaikinya. Sangat tidak bijak jika kita menganggap bahwa konservasi air hanya menjadi tanggung jawab salah satu instansi atau pemerintah saja. Siapapun kita, apapun pekerjaan kita, dimanapun kita berada, kita harus berbuat sesuatu untuk konservasi air. Konservasi air dapat dilakukan oleh pengelola air, maupun pemakai air, di daerah aliran sungai, di bendungan, pada sistem distribusi, maupun pada sistem pembuangan (Supirin, 2002). Tabel 6.1 berikut menyajikan permasalahan serta usaha konservasi air pada tiap komponen dalam sistem sumberdaya air.

Berbagai model konservasi telah dibuat dan diterapkan pada berbagai Negara. Jepang dan Belanda merupakan Negara yang berhasil dalam mengelola lingkungannya sehingga menjadi wilayah yang memiliki kawasan konservasi terbesar. Belanda walaupun merupakan Negara kecil tapi memiliki cukup banyak cagar alam, kolam, dan kawasan resapan.

Tabel 6.1. Usaha-Usaha Konservasi Air Secara Holistik

<p>Filosofi:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Konservasi air adalah alternative pertama bukan tempat tujuan akhrit 2. Konservasi air adalah di sini dan sekarang, praktis tidak menyakitkan, populer, menguntungkan dan bahkan melindungi
<p>Prinsip dasar:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Upaya konservasi air bukan tujuan akhir, tetapi hanya salah satu cara dalam upaya pengelolaan sumberdaya air secara menyeluruh, terpadu, hemat dan tepat guna. 2. Beban biaya upaya konservasi air tidak boleh lebih tinggi dari manfaatnya.
<p>Permasalahan:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. DAS: tekanan penduduk, eksploitasi lahan berlebihan, kesalahan tata guna lahan, salah pengolahan, penebangan hutan, curah hujan tinggi, jenis tanah rentang erosi, dan tingkat erosi tinggi 2. Penampungan: tingkat penguapan tinggi, tingkat sedimentasi tinggi, pertumbuhan gulma air cepat, 3. Pencemaran; pengoprasian waduk tidak optimal 4. Sistem distribusi: kehilangan air tinggi, tingkat sedimentasi tinggi, pencemaran, gangguan gulma air 5. Sistem aplikasi: kebocoran air tinggi dan pemakaian air tidak efisien 6. Pemakai: penggunaan air yang berlebihan, masyarakat boros air, pemakaian air tidak hati-hati
<p>Tujuan:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Meningkatkan kemampuan sistem 2. Memperkecil tingkat kebocoran sistem 3. Memelihara fungsi sistem secara berkesinambungan (sustainable) 4. Alokasi air sesuai kebutuhan dan memberikan manfaat optimal <p>Tujuan secara rinci:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mempertahankan keseimbangan dan fungsi hidronologis kawasan (<i>watershed management</i>) 2. Mengkap dan menahan aliran seoptimal mungkin, optimasi rancangan, operasi dan pengolahan waduk 3. Meningkatkan efensiensi sistem, meningkatkan pengendalian pencemaran air, operasi dan pemeliharaan yang memadai 4. Mengurangi kebocoran dan meningkatkan efensiensi 5. Mengendalikan dan mengurangi permintaan, mendaur ulang air buangan (<i>reuse dan recycling</i>), membudayakan masyarakat anti air
<p>Cara Teknis:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Penghutan kembali, penghijauan, tata guna lahan yang sesuai, pemasyarakatan terras, perkuatan tebing rawan longsor, chek dam, dll 2. Pengendalian sedimentasi, pengendalian gulma air, pengelolaan kualitas air, pengelolaan waduk terpadu, optimasi alokasi air 3. Pengendalian sedimentasi, pengendalian gulma air, pengelolaan kualitas air, saluran kedap air dan pipa 4. Pengembangan dan penggunaan teknologi hemat air, kontrol kebocoran metering 5. Pemakaian ulang dan daur ulang, kampanye hemat air melalui media massa

Perundangan:

1. Peraturan yang melindungi atau membatasi pemanfaatan kawasan dan penempatan tata guna lahan (zoning) yang sesuai untuk tujuan konservasi tanah & air
2. Penetapan zona perlindungan waduk dan peraturan tentang pencemaran air
3. Peraturan yang melarang membuang sampah rumah tangga dan industri ke badan air dan peraturan tentang pencemaran air
4. Peraturan penggunaan bahan dan peralatan bangunan untuk hemat air
5. Larangan penggunaan air untuk keperluan tertentu yang berkaitan dengan kekeringan dan sistem water right dan water parent yang kondusif

Ekonomi:

1. Pertimbangan ekonomi dan financial masuk dalam perhitungan untuk mendukung konservasi air
2. Menciptakan mekanisme yang dapat meningkatkan relai air dari benda yang bernilai sosial menjadi barang bernilai ekonomis, melalui Sistem tariff insentif dan penalty.
3. Alokasi biaya konservasi pada penerima manfaat Privatisasi, dll.

Kelembagaan:

1. Koordinasi antar lembaga untuk pengelolaan terpadu kawasan
2. Upaya konservasi air harus dipertimbangkan sebagai salah satu pilihan dalam perencanaan pengadaan air dan digunakan dimana pilihan tersebut efektif.
3. Pembinaan petugas lapangan agar lebih peka terhadap upaya-upaya hemat air, penyampaian pesan hemat air secara konsisten dan persisten oleh pimpinan lembaga kepada pengambilan keputusan dan perencanaan di pusat maupun di daerah
4. Pembinaan organisasi atau masyarakat pemakai air, meningkatkan peran serta masyarakat, penyampaian pesan hemat air melalui pendidikan formal atau non formal
5. Koordinasi dengan lembaga-lembaga pemakai air sektoral untuk pengelolaan dan pemakai air.

Jepang yang terletak di wilayah Sirkum-Pasifik mempunyai keunikan karakteristik sumberdaya air tersendiri. Fisiografis wilayah yang dikelilingi pegunungan yang mencakup ? bagian wilayahnya serta sungai-sungai yang pendek dan tergolong curam mengakibatkan pola distribusi siklus air menjadi sangat unik. Keunikan karakteristik tersebut sangat mempengaruhi siklus hidrologi di wilayah daerah aliran sungai. Banyaknya gunung dan bukit serta sungai yang sempit dan curam tersebut mengakibatkan hujan yang jatuh di daerah hulu mengalir dengan cepat ke laut dan yang terserap kedalam tanah hanya dalam jumlah yang terbatas. Rata-rata curah hujan di Jepang setiap tahunnya di atas 1600 mm, yang terjadi pada musim hujan serta saat-saat typhoon antara bulan Juni-Oktober. Faktor curah hujan yang tergolong tinggi serta tingkat kemampuan menahan air tanah yang rendah mengharuskan pemerintah Jepang membuat bangunan penangkap/penahan air dalam jumlah besar, mulai dari bendungan raksasa sampai ke kolam-kolam penampungan air skala mikro.

Pemerintah Jepang telah menghabiskan banyak biaya untuk pembangunan bendungan dan kolam penampungan air dalam upayanya untuk memaksimalkan penangkapan air hujan.

Menurut hasil survey [2] dan [3] saat ini tercatat lebih dari 2.650 dam (ketinggian >15 m) telah dibangun di Jepang, dengan daya tampung air mencapai 26.9 milyar meter kubik. Selain dam, embung penampung air juga banyak dibangun dengan peruntukan utama untuk mengairi lahan pertanian. Pembangunan waduk dalam jumlah besar tersebut menempatkan Jepang sebagai negara ketiga terbesar di benua Asia dalam hal jumlah bendungan setelah China dan India, atau peringkat pertama dalam hal rasio antara jumlah bendungan per luas wilayah. Pembangunan bendungan dalam jumlah besar tersebut tidak hanya ditujukan untuk keperluan penampungan air saja namun bersifat multifungsi, misalnya untuk pengendalian banjir, tempat pemeliharaan ikan, rekreasi dan lain-lain. Pembangunan bendungan dan kolam penampungan air di Jepang pada satu sisi memberi keuntungan dalam kaitannya dengan pemenuhan kebutuhan masyarakat akan air untuk aktifitas pertanian, industri maupun perumahan. Namun demikian terlepas dari keuntungan tersebut pembangunan sarana tersebut juga membawa permasalahan-permasalahan baik itu dalam kaitannya dengan pendanaan untuk konstruksi jaringan irigasi maupun dalam kegiatan operasi dan pemeliharaan (O&P) sarana dan prasarana yang telah dibangun. Sehubungan dengan hal tersebut, tulisan ini dimaksudkan untuk memaparkan kondisi sumberdaya air di Jepang, yang mencakup aspek distribusi penggunaan air, model O&P fasilitas air serta permasalahan yang dihadapi dalam pengelolaan bangunan air tersebut.

Sebagai penutup dapat dikemukakan beberapa point penting berkaitan dengan pengelolaan sumberdaya air di Jepang. Adanya kemandirian petani untuk mengelola fasilitas irigasi yang telah dibangun oleh pemerintah menjadi salah satu kunci utama keberlanjutan sistem usahatani di Jepang. Namun demikian terlepas dari keberhasilan tersebut usahatani di Jepang juga dihadapkan pada permasalahan kelangkaan tenaga kerja di bidang pertanian serta meningkatnya beban petani untuk mengelola aset irigasi yang berbiaya tinggi. Biaya pengelolaan aset irigasi tersebut akan terus membengkak seiring menuanya umur fasilitas tersebut. Olehnya itu dalam menyiasati permasalahan tersebut, manajemen irigasi di Jepang saat ini lebih diarahkan kepada pemeliharaan dan perawatan aset-aset yang ada dengan disertai perbaikan efisiensi penggunaan air. Selain itu juga dilakukan upaya rasionalisasi terhadap aset yang akan diperbaiki dengan terlebih dahulu mempertimbangkan tingkat keuntungan yang diperoleh terhadap biaya pengeluaran untuk perbaikan fasilitas.

Berikut ini dipaparkan tentang keberhasilan Belanda dalam upaya konservasi air yang melibatkan segenap lapisan masyarakat. Belanda merupakan salah satu Negara terkecil dan berpenduduk padat di dunia, telah berhasil dalam pengelolaan kelestarian alam dan kekayaan

flora maupun faunanya. Setelah selama berabad-abad daerah alam menyusut drastis, pemerintah dan organisasi perlindungan alam berusaha memulihkan keadaan ini. Selama abad 20 (tepatnya tahun 1905) usaha kelestarian alam mulai dilakukan, pada awalnya bertujuan untuk melindungi manusia dari alam, kemudian berubah menjadi melindungi alam dari manusia, dan akhir-akhir ini mereka berusaha mempertemukan manusia dengan alam. Pelestarian alam menjadi keharusan, 450.000 ha lahan telah berubah menjadi cagar alam berupa hutan, padang heide, bukit pasir, danau, dan taman. Cagar alam ini dikelola dengan baik dilengkapi dengan tempat rekreasi, taman, tempat bersepeda, berkuda, bahkan untuk *mountain bike*, sehingga manusia dapat menyatu dengan alam.

Sebanyak 1.350 cagar alam di Belanda dikelola secara profesional oleh beberapa organisasi swasta yang disubsidi pemerintah dan beranggota lebih dari satu juta orang. Organisasi ini berupaya melindungi dan memulihkan cagar alam yang ada, dan mengembangkan cagar alam baru dengan jalan membeli lahan pertanian dan mengembalikan ke kondisi asalnya. Bahkan organisasi ini telah mengupayakan daerah bekas rawa (di *Bargerveen*) supaya kembali berfungsi seperti semula, dengan jalan mengubah sistem pembuangan air (menuju ke rawa) dan menggali kolam-kolam penampungan air untuk menaikkan kadar air dalam tanah dan meningkatkan kapasitas penampungan air.

Selain itu telah berhasil dikembangkan taman-taman nasional (ada 17 taman nasional) masing-masing dengan ukuran sekitar 1000 ha. Taman ini dikelola oleh swasta untuk tempat rekreasi alam, informasi masyarakat, pendidikan, dan penelitian. Pada UU Pelestarian alam dikatakan bahwa pemerintah dapat menunjuk daerah-daerah indah ataupun penting tertentu menjadi monumen alam. Orang tidak boleh membangun dalam cagar alam atau melakukan apapun yang dapat membahayakan alam.

Beberapa kegiatan yang terkait dengan konservasi air dari Negara Belanda tersebut dapat diterapkan untuk pengembangan model konservasi air di kota Bandar Lampung. Lahan terbuka atau areal resapan yang masih ada di kota Bandar Lampung harus dimaksimalkan keberadaannya, didukung partisipasi dari masyarakat, dan diperkuat dengan jaminan UU yang dilaksanakan dengan benar dan tegas. Kawasan bekas rawa yang masih ada di perkotaan, bantaran sungai yang lebar, bantaran jalan kereta api, sempadan pantai, masih dapat dikelola secara optimal sebagai areal resapan di kawasan perkotaan. Selain itu perlu digalakkan upaya tamanisasi, baik pembuatan dan pengelolaan taman kota oleh pemerintah maupun masyarakat. Masyarakat diharuskan supaya memiliki taman di pekarangan atau

memiliki pohon tertentu di pekarangan rumah, ataupun satu RT diharuskan memiliki taman kecil yang dikelola warganya secara gotong royong.

Pembukaan lahan pada kawasan perbukitan harus cermat dan berwawasan lingkungan, daerah berlereng curam dan rawan dengan bahaya longsor lahan supaya dijadikan kawasan konservasi. Pemerintah kota Bandar Lampung supaya membuat “*peta kawasan konservasi*” yang dilindungi dengan UU, dan kawasan ini tidak boleh dibuka untuk kawasan permukiman. Pada kawasan perbukitan dan lereng gunung supaya dirintis untuk dibangun waduk-waduk kecil ataupun dam-dam penahan aliran dan erosi terutama pada Kali Garang (Kali Garang hulu, Kali Kripik, dan Kali Kreo). Selain itu perlu dimasyarakatkan pembuatan resapan air pada setiap rumah yang *di perdakan*. Penampungan limbah air rumah tangga dan penampungan hujan pada setiap rumah di kawasan perbukitan atau lereng gunung sangat efektif dilakukan, karena akan mampu meresapkan air dalam jumlah besar ke dalam tanah. Cara ini memerlukan sosialisasi sejak dini karena menumbuhkan kesadaran masyarakat terhadap lingkungan berarti merubah tradisi, kegiatan ini memerlukan waktu yang panjang dan lama tapi harus segera dimulai.

Beberapa bentuk partisipasi masyarakat yang dapat diterapkan di Kota Bandar Lampung dan secara lebih rinci diuraikan pada beberapa kawasan, seperti kawasan hutan lindung dan hutan produksi, kawasan perkebunan dan tegalan, kawasan perdesaan, dan kawasan perkotaan (lihat Tabel 6.2).

6.3. Konservasi Air melalui Kawasan Resapan

Berkurangnya daya resap air ke dalam tanah karena kondisi daerah tangkapan yang semakin tidak mampu menyerap air hujan, maka akibatnya akan memperbesar aliran permukaan. Selain itu areal resapan yang kecil mengakibatkan simpanan air berkurang sehingga menimbulkan kekeringan pada musim kemarau. Oleh karena itu perlu diupayakan agar air hujan yang jatuh sedapatnya jangan terlalu cepat dibuang ke laut melalui drainase dan sungai, namun agar “*ditahan*” di Daerah Aliran Sungai (DAS bagian hulu), dengan memperbesar resapan ke dalam tanah sebesar resapan pada saat sungai itu terbentuk dengan cara membuat resapan secara alamiah maupun resapan buatan.

Tabel 6.2. Beberapa Bentuk Partisipasi Masyarakat dalam Upaya Konservasi Air

Nama Kawasan	Lingkup Partisipasi	Bentuk Partisipasi
1. Hutan lindung dan hutan Produksi	Program perencanaan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pemeliharaan hutan dan reboisasi ▪ Penebangan berencana ▪ Pembuatan cek dam
	Teknologi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pembuatan waduk penampung air ▪ Ada tanaman sela sejenis rumput gajah.
	Tradisi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menumbuhkan kesadaran bahwa hutan menjadi tanggung jawab bersama ▪ Digunakan sbg wisata hutan dan tempat camping
	Sikap mental	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Masyarakat sbg. tenaga kerja pengelola hasil hutan ▪ Berperan aktif menjaga kelestarian hutan & lingk.
2. Perkebunan dan Pertanian	Program perencanaan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pemanfaatan ruang antara dengan tanaman sela ▪ Melakukan rehabilitasi lahan kritis ▪ Menerapkan pola usaha tani konservasi
	Teknologi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Terasing, pola tanam berganda dan sistem jalur ▪ Cek dam dan lain-lain
	Tradisi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mengolah lahan scr. monokultur pada lahan miring ▪ Menghindari pengolahan searah lereng
	Sikap mental	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menghindari egosentris pemanfaatan air dan lahan ▪ Jangan mengubah lahan, alasan ekonomi sesaat
3. Kawasan Perdesaan	Program perencanaan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Memperhatikan lingkungan permukiman sehat ▪ Melaksanakan sistem pembuangan sampah ▪ Melaksanakan Prokasih ▪ Melestarikan tanaman, penghijauan, tanaman tepi jalan
	Teknologi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kolam lingkungan multiguna & Saluran antar lingk. ▪ Sumur resapan atau jugangan
	Tradisi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Meningkatkan tradisi gotong royong thd. lingkungan ▪ Menghindari penggunaan pohon lingkungan untuk material bangunan secara berlebihan
	Sikap mental	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kesadaran lingkungan (sampah dan limbah)
4. Kawasan Perkotaan	Program perencanaan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Melaksanakan peraturan bangunan (IMB) ▪ Ikut melaksanakan penghijauan, prokasih, sistem penanganan sampah ▪ Pemanfaatan ruang sesuai dengan rencana kota
	Teknologi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistem drainase lingkungan yang memadai ▪ Membuat sumur resapan pada setiap bangunan ▪ Pembuatan waduk pengendali banjir ▪ Normalisasi aliran sungai dan pembuatan tanggul ▪ Pembangunan rumah susun
	Tradisi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Membangun tidak hanya memperhatikan estetika saja dan hanya horizontal ▪ Meningkatkan gotongroyong ▪ Menghindari buang sampah dan tinja di sungai.
	Sikap mental	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dalam membangun memperhatikan aspek ekonomi dan lingkungan (menyediakan ruang hijau, dsb.) ▪ Meningkatkan kesadaran kebersihan lingkungan (budaya hidup bersih).

Sumber: Setyowati, 1999

A. Kawasan resapan, areal resapan. lahan terbuka hijau, ruang terbuka hijau dan biru berupa taman maupun kolam penampungan air, merupakan suatu upaya untuk menahan aliran air permukaan supaya meresap dan masuk ke dalam tanah. Beberapa kota besar di dunia melakukan perlindungan terhadap kondisi lingkungan, betapa pentingnya

mempunyai lingkungan yang bersih, indah, dan hijau. Kota-kota besar di Negara maju sangat mendukung upaya menjaga kelestarian dan keseimbangan lingkungan, faktor penyebabnya karena kesadaran masyarakat di Negara Maju sudah tinggi dan didukung oleh dana operasional yang besar pula, sedangkan di Negara berkembang yang terjadi justru sebaliknya. Dibawah ini akan diulas tentang pengembangan kota taman hijau di Singapura dan Washington, D.C (Ling Ooi Giok 1995 dalam Setyowati, 2001).

- B. Perkembangan urbanisasi dan industrialisasi di Singapura menjadi sebab utama menurunnya kualitas lingkungan daerah perkotaan. Upaya yang dilakukan untuk menjaga keseimbangan dan kelestarian lingkungan adalah dengan pengembangan areal resapan terbuka hijau melalui konsep kota taman, supaya terwujud Singapura menjadi kota taman yang bersih dan hijau. Metode yang digunakan untuk mewujudkan kota taman adalah melalui tahap inisiasi, pengembangan, dan pemantapan. Pada tahap inisiasi dilakukan upaya penghijauan atau membuat kota se hijau mungkin. Tahap pengembangan dilakukan melalui intensifikasi ruang hijau dengan penanaman berbagai jenis tanaman perdu dan pepohonan, serta melalui pendidikan atau penerangan pada masyarakat. Pada tahap pemantapan dengan membentuk jaringan antara distribusi taman, akses taman, kelayakan lokasi taman, partisipasi masyarakat, transportasi, dan pemeliharaan.
- C. Ada beberapa jenis taman yang dikembangkan di Singapura, yaitu Taman Regional dengan berbagai fasilitasnya kurang lebih seluas 200 Ha, Taman Perkotaan seluas 10 – 15 Ha, Taman Lingkungan di sekitar rumah penduduk seluas 0,1-0,2 Ha, dan Taman kota tanpa fasilitas berupa ruang terbuka kecil untuk jalur hijau, pulau jalan, plaza, dan sebagainya. Peran pemerintah, pihak swasta, dan masyarakat sudah terjalin dengan baik ditunjang dengan sikap disiplin yang tinggi.
- D. Washington, D.C., sebagai ibukota Negara memiliki permasalahan dalam penyediaan ruang terbuka. Permasalahan pokok yang dihadapi adalah kepadatan bangunan yang tinggi dan dasar bangunan (*building coverage*) yang tinggi. Hal ini berasal dari rencana tapak yang lampau yang kurang memperhatikan perencanaan lanskap. Ekspansi lahan yang terutama dilakukan pada kawasan komersial dan kebutuhan pengembangan jalan telah merusak struktur zone penggunaan lahan. Fungsi-fungsi zonasi menjadi campur aduk sehingga sulit dibedakan fungsi masing-masing zone. Upaya yang dilakukan adalah perbaikan secara menyeluruh terhadap rencana kota yang telah ada. Salah satu upaya yang dilakukan adalah membentuk sistem ruang terbuka yang memadai. Langkah awal yang ditempuh adalah dengan mempertahankan ruang-ruang terbuka di

pusat-pusat kota. Ruang terbuka ini dibentuk dengan geometri yang sangat teliti sebagai pertemuan diagonal antara jalan-jalan sekunder. Selanjutnya dibentuk sistem keterkaitan antar elemen penghijauan jalan yang diciptakan oleh pola diagram yang memusat di satu titik.

- E. Setiap diadakan perbaikan bangunan selalu diikuti desain ulang yang memberikan proporsi ruang hijau yang memadai. Kebijakan ini membutuhkan partisipasi yang kuat dari masyarakat dan swasta. Langkah akhir pemerintah melakukan penertiban zonasi dengan pemisahan fungsi lahan yang jelas. Pemisahan antar zona dihubungkan dengan ruang terbuka dan jalan, sehingga terbentuk keterkaitan ruang hijau yang memberikan kenyamanan bagi masyarakat dan keseimbangan lingkungan tetap terjaga.

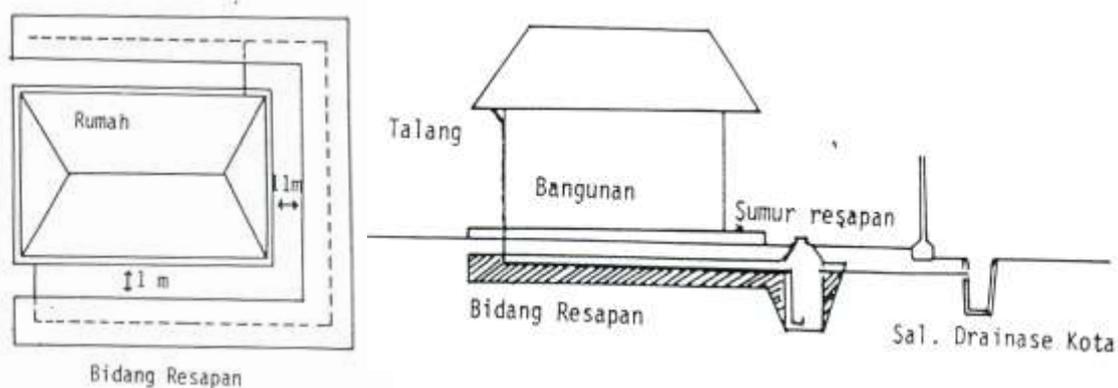
Ada dua pendekatan dalam merencanakan luasan areal sebagai areal resapan air pada suatu kota. Pertama, ruang terbuka hijau menjadi bagian dari suatu kota, luas ruang terbuka ditentukan berdasarkan persentase luas kota, misalnya penentuan 30% luas wilayah sebagai ruang terbuka hijau. Kedua, menganggap bahwa kota adalah bagian dari ruang terbuka hijau. Kedua, menganggap bahwa kota adalah bagian dari ruang terbuka hijau, sehingga perlu dilakukan pembuatan taman kota dan sejenisnya. Luas ruang resapan daerah perkotaan tidak ada standard baku, namun Singapura memiliki ruang terbuka hijau seluas 0,8 ha/1000 orang penduduk. London memiliki ruang terbuka hijau seluas 2 ha/1000 penduduk (Ling, 1995 dalam Setyowati, 2001).

- F. Beberapa cara yang dilakukan untuk membuat areal resapan secara umum dimaksudkan untuk dapat memasukkan air hujan ke dalam tanah. Penanganan konservasi airtanah dan pengurangan debit telah banyak dilakukan dengan berbagai cara dan dari berbagai disiplin ilmu. Penanganan DAS secara terpadu dengan reboisasi, terasering, serta pembuatan bangunan peredam aliran air telah banyak dilakukan para ahli (Sunyoto, 1987). Cara lain dengan mengisi kembali airtanah secara mekanis dengan pompa, maupun pembuatan genangan buatan dengan sumber air dari sungai (Todd, 1980). Seaburn (1970) mengusulkan pembuatan kolam-kolam air disekitar rumah sebagai cara untuk membantu proses pengisian air ke dalam tanah. Cara penggenangan lahan telah dilakukan oleh nenek moyang kita, yaitu melalui sistem pertanian tradisional yang banyak terdapat di Jawa dan Bali, secara langsung merupakan cara intensif untuk konservasi air. Pembuatan lobang-lobang (sampah) di kebun/halaman rumah merupakan wujud areal resapan sebagai penampung air bila hujan (Bappeda, 1995).

Beberapa persyaratan sumur resapan yang harus dipenuhi adalah konstruksinya harus sederhana, murah dan cepat proses pembuatannya, kedalaman cukup serta mempunyai kapasitas tandon yang memadai, memiliki sarana perlindungan terhadap pencemaran air, aman terhadap anak-anak, bebas dari sarang nyamuk, mudah pemeliharaannya. Pada waktu membuat sumur resapan perlu memperhatikan hal-hal berikut, 1) longsoran dinding sumur; 2) gas beracun; dan 3) jaringan kabel. Longsoran dinding dapat membahayakan penggali sumur resapan. Oleh karena itu diperlukan penyangga dinding yang kuat, khususnya jika dijumpai lapisan tanah berpasir yang mempunyai butiran lepas yang mudah longsor. Genangan air di dalam sumur sebaiknya dipompa secara perlahan-lahan, agar air tidak secara cepat terkuras. Pompa yang dipakai sebaiknya yang berkapasitas kecil. Airtanah yang terisap secara cepat dapat mengakibatkan terjadinya longsoran dinding sumur resapan.

Kawasan resapan atau areal terbuka hijau merupakan areal taman yang cukup luas berfungsi meresapkan air ke dalam tanah, sedangkan sumur resapan merupakan alternatif peresapan air dengan menggunakan lahan yang relatif sempit. Sumur resapan dapat dilakukan secara individu maupun secara kolektif, dengan menggunakan berbagai bahan yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan serta ketersediaan bahan baku di lokasi dan ketersediaan dana. Bahan pokok yang dapat dibuat untuk sumur resapan sebagai berikut.

1. Bahan saluran air dapat digunakan pipa besi, pipa paralon (PVC), bambu, hong dari tanah atau beton, dan parit-parit galian tanah yang diberi batu.
2. Dinding sumur dapat menggunakan tembok, drum bekas, hong beton, anyaman bambu, atau tangki fiberglas.
3. Alas sumur dan sela bagian dinding tempat meresapnya air dapat menggunakan bahan kerikil atau ijuk.

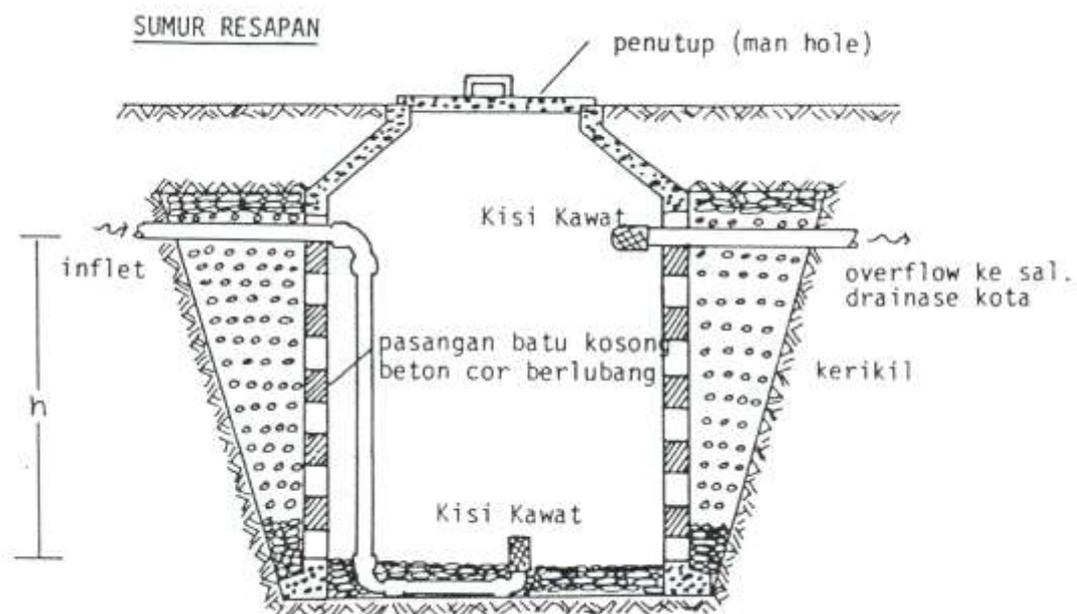


Gambar 6.1. Desain Penampungan Aliran dari Atap Rumah

Bangunan sumur resapan pada umumnya dibuat dengan menampung air hujan yang jatuh pada atap rumah, dialirkan menggunakan pipa dan masuk ke lobang penampungan atau sumur resapan yang telah disiapkan. Berikut (Gambar 6.1 dan 6.2) disampaikan tentang desain berbagai bentuk sumur resapan yang dapat dilakukan secara sederhana dengan biaya ringan, maupun dilakukan secara permanen dengan biaya relatif lebih mahal.

1. Sumur Resapan dari Bambu

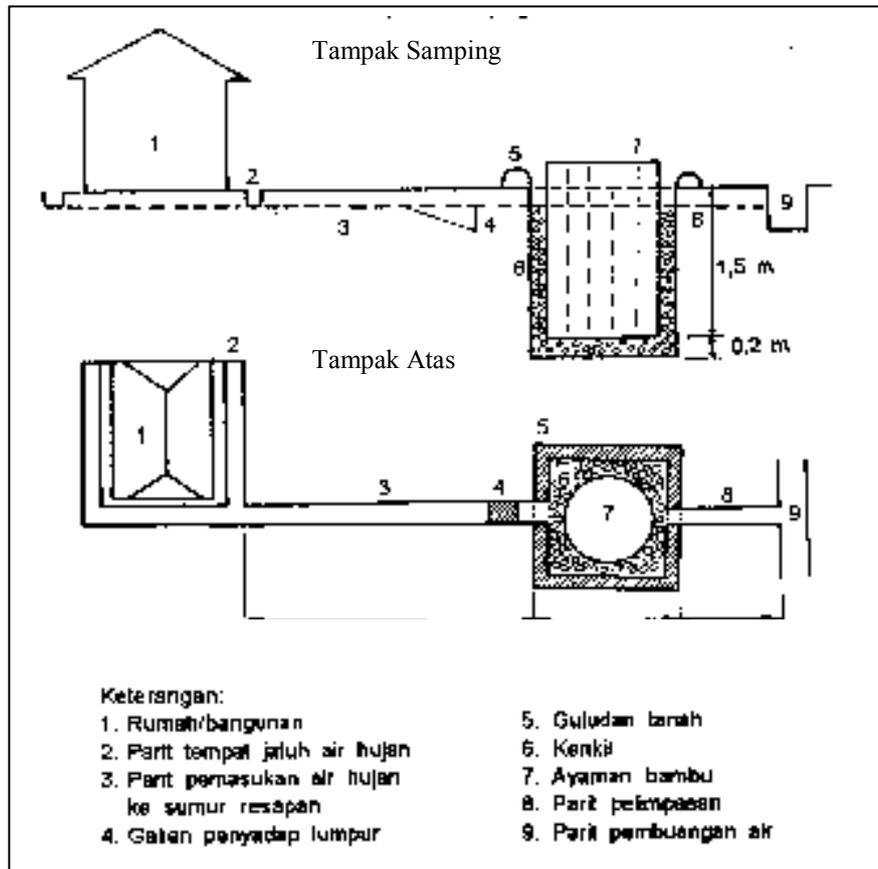
Sumur resapan yang terbuat dari bambu merupakan sumur resapan yang sederhana dinding sumur terbuat dari anyaman bambu. Tata letak sumur resapan bambu secara umum sama dengan sumur resapan individu yang terbuat dari beton yang diterapkan untuk masyarakat perkotaan. Jaraknya sumur dengan bangunan lain di sekitarnya harus diperhatikan. Misalnya jarak minimal dengan sumur air minum 10 m, jarak dari pohon 1,5 m, jarak dari rumah 3 m, dan jarak sumur dari jalan raya 1,5 m. Hindari pembuatan sumur resapan di pinggir sungai, karena tidak ada manfaatnya.



Gambar 6.2. Desain Konstruksi Sumur Resapan yang dibuat Permanen

Konstruksi sumur resapan yang dibuat dari anyaman bambu berbentuk lingkaran dengan diameter 1 m dan tinggi 2 m. Saluran air dibuat dari parit-parit yang diarahkan ke sumur resapan yang dilengkapi dengan saringan sampah dan penyadap lumpur. Sebagai keamanan, bagian anyaman ditinggikan 50 cm dari permukaan tanah dan dilengkapi dengan penutup. Konstruksi sumur resapan seperti pada Gambar 27. Sumur resapan dari

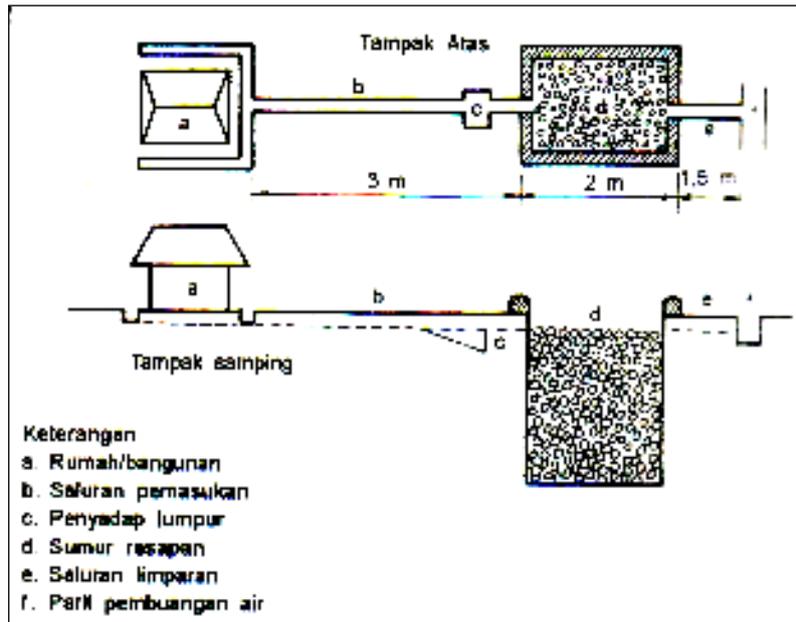
bambu ini membutuhkan bahan berupa bambu tua berukuran besar (diameter 7-10 m). Selain itu, juga dibutuhkan kerikil 1 m³ untuk sekeliling anyaman bambu.



Gambar 6.3. Model dan Konstruksi Sumur Resapan dari Bambu

2. Sumur Resapan dengan Lubang Kerikil

Bagi wilayah yang mengalami kesulitan untuk mendapatkan bambu, tapi banyak tersedia batu atau kerikil dapat membuat sumur resapan dari bahan kerikil. Kerikil yang digunakan dapat berukuran 2 - 20 mm. Alternatif lain batuan yang besar dipecahkan menjadi ukuran kerikil. Jumlah kerikil yang dibutuhkan sekitar 2 m³. Cara pembuatan sumur resapan ini seperti model sumur resapan bambu, hanya lubang yang telah dibuat kemudian diisi kerikil. Air dari atap diarahkan menuju sumur resapan tersebut. Cara ini lebih mudah dan sederhana, tetapi daya tampungnya sedikit dan ada kemungkinan tertutupi tanah (Gambar 6.4).



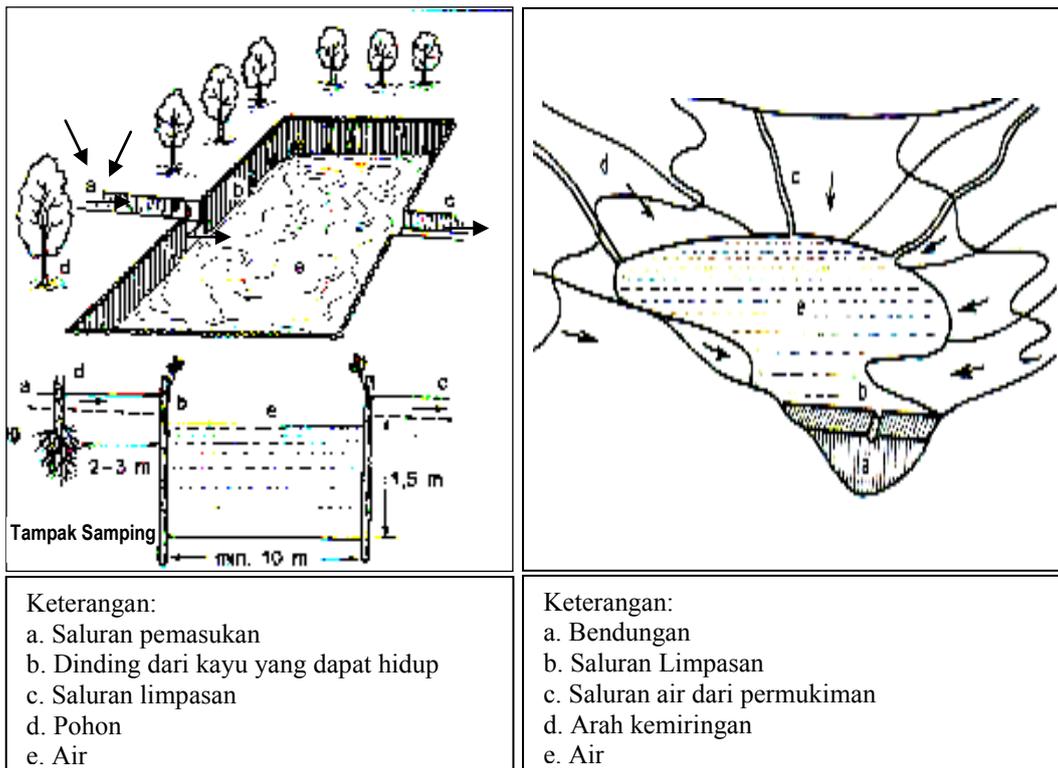
Gambar 6.4. Model dan Konstruksi Sumur Resapan dari Kerikil

3. Sumur Resapan Kolektif

Secara kolektif sumur resapan di kawasan pedesaan dapat dibuat dengan model kolam resapan. Seandainya lokasinya bergelombang atau ada lembah-lembah yang dapat dimanfaatkan untuk sumur resapan maka dengan mudah dapat dibuat sumur resapan dengan cara membendung lembah dengan tanah.

Sistem tersebut disebut juga dengan *embong* atau cek dam sederhana yang dapat juga dimanfaatkan untuk persediaan air permukaan pada musim kemarau. Cara ini banyak dikembangkan di daerah Nusa Tenggara yang memiliki musim kering dan lahan yang bergelombang. Cara ini cocok diterapkan pada lahan-lahan yang bergelombang, memiliki lembah-lembah yang dalam, dan mudah untuk dibendung serta air dari permukiman dapat disalurkan ke lembah yang akan dibendung.

Bendungan dibuat dari tanah yang lebih dahulu dibuat tumpukan balok kayu yang tidak mudah lapuk, seperti ulin, pohon kelapa, pohon enau, jati, dan dipatok dengan patok kayu yang dapat tumbuh berakar dan bertunas, seperti bambu haur, galam, angsana, gamal, atau dadap. Agar air hujan dapat masuk ke dalam kolam resapan, maka dari permukiman atau lahan lainnya dibuat parit-parit yang mengarah ke kolam resapan. Air hujan dapat terkumpul dalam kolam dan dapat meresap ke dalam tanah, untuk lebih jelasnya ditampilkan dalam Gambar 6.5.



Gambar 6.5. Model Sumur Resapan Kolektif berupa Kolam atau Embung

