

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hidrologi

Hidrologi adalah ilmu yang mempelajari air dalam segala bentuknya (cairan, gas, padat) pada, dalam, dan di atas permukaan tanah. Termasuk didalamnya adalah penyebaran daur dan perilakunya, sifat-sifat fisika dan kimianya, serta hubungannya dengan unsur-unsur hidup dalam air itu sendiri (Asdak, 2002 : 4).

2.1.1 Daur Hidrologi

Daur atau siklus hidrologi adalah gerakan air laut ke udara, yang kemudian jatuh ke permukaan tanah lagi sebagai hujan atau bentuk presipitasi lain, dan akhirnya mengalir ke laut kembali (Soemarto, 1987 : 17).

Dalam daur hidrologi energi panas matahari dan faktor-faktor iklim lainnya menyebabkan terjadinya proses evaporasi pada permukaan vegetasi dan tanah, di laut, di sungai, atau di danau. Uap air sebagai hasil proses evaporasi akan terbawa oleh angin melintasi daratan yang bergunung maupun datar, dan apabila keadaan atmosfer memungkinkan, sebagian dari uap air tersebut akan terkondensasi dan turun sebagai air hujan.

Air hujan yang dapat mencapai permukaan tanah, sebagian akan masuk (terserap) ke dalam tanah (*infiltration*). Sedangkan air hujan yang tidak terserap ke dalam tanah akan tertampung sementara dalam cekungan-cekungan permukaan tanah (*surface detention*) kemudian mengalir ke atas permukaan tanah yang lebih rendah (*run off*) dan akhirnya masuk ke sungai. Air infiltrasi akan tertahan di dalam tanah oleh gaya kapiler yang kemudian akan membentuk kelembaban tanah. Pada saat tingkat kelembaban tanah telah cukup jenuh maka air hujan yang baru masuk ke dalam tanah akan bergerak secara lateral (*horizontal*) untuk selanjutnya pada tempat tertentu akan keluar ke permukaan tanah (*surface flow*) dan akhirnya ke sungai.

Tidak semua air infiltrasi (air tanah) mengalir ke sungai atau tampungan air lainnya, melainkan ada sebagian air infiltrasi yang tetap tinggal dalam lapisan tanah bagian atas (*top soil*) untuk kemudian diuapkan kembali ke atmosfer melalui permukaan tanah (*soil evaporation*) dan melalui permukaan tajuk vegetasi (*transpiration*).

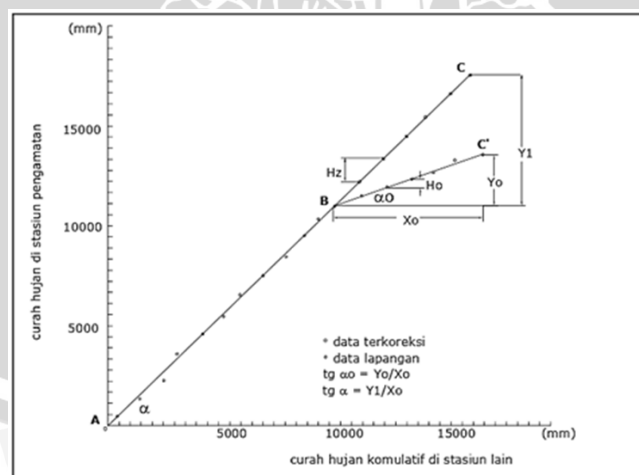
2.2 Analisa Hidrologi

2.2.1. Uji Konsistensi Hujan Metode Lengkung Massa Ganda

Data hujan yang diambil dari berbagai stasiun hujan diuji untuk mengetahui apakah data tersebut konsisten atau tidak. Uji konsistensi merupakan uji kebenaran data lapangan yang menggambarkan keadaan sebenarnya. Data yang tidak konsisten dapat disebabkan oleh berbagai faktor antara lain:

1. Perubahan mendadak pada sistem lingkungan hidrologis, antara lain adanya pembangunan gedung-gedung baru, tumbuhnya pohon-pohon, gempa bumi, gunung meletus dan lain-lain.
2. Pindahan alat pengukur hujan.
3. Perubahan cara pengukuran, misalnya berhubungan dengan adanya alat baru atau metode baru.

Uji konsistensi dapat dilakukan dengan menggunakan kurva massa ganda (*double mass curve*). Dengan metode ini dapat dilakukan dengan koreksi untuk data hujan yang tidak konsisten. Langkah yang dilakukan adalah membandingkan harga akumulasi curah hujan tahunan pada stasiun yang diuji dengan akumulasi curah hujan tahunan rerata dari suatu jaringan dasar stasiun hujan yang berkesesuaian, kemudian diplotkan pada kurva. Jaringan ini dipilih dari stasiun-stasiun hujan yang berdekatan dengan stasiun yang diuji dan memiliki kondisi meteorologi yang sama dengan stasiun yang diuji (Subarkah, 1980: 28).



Gambar 2.1 Lengkung massa ganda

Sumber: Soemarto (1987:39)

Dari gambar diatas akan diperoleh garis ABC bila tidak ada perubahan terhadap lingkungan. Tetapi bila pada tahun tertentu terjadi perubahan lingkungan maka didapat

garis patah ABC'. Apabila terjadi penyimpangan (ABC') maka dikoreksi dengan rumus (Nemec, 1973:179).

$$Tg\alpha = \frac{y}{x} = \frac{Hz}{x_0} \quad (2-1)$$

$$Tg\alpha_0 = \frac{y_0}{x_0} = \frac{H_0}{x_0} \quad (2-2)$$

$$Hz = \frac{Tg\alpha}{Tg\alpha_0} \cdot H_0 \quad (2-3)$$

dimana:

H_z = data curah hujan yang telah di koreksi

H_0 = data curah hujan tahunan hasil pengamatan

$Tg\alpha$ = kemiringan setelah dikoreksi

$Tg\alpha_0$ = kemiringan awal

A = sudut yang dibentuk oleh garis data hujan yang membelok dengan garis sejajar absis. Absis merupakan jumlah rata stasiun yang ada.

2.2.2 Curah Hujan Rerata Daerah

Untuk mendapatkan gambaran mengenai penyebaran hujan di seluruh daerah, di beberapa tempat tersebar pada DAS dipasang alat penakar hujan. Pada daerah aliran yang kecil kemungkinan hujan terjadi merata diseluruh daerah, tetapi tidak pada daerah aliran yang besar. Hujan yang terjadi pada daerah aliran yang besar tidak sama, sedangkan pos-pos penakar hujan hanya mencatat hujan di suatu titik tertentu. Sehingga akan sulit untuk menentukan beberapa hujan yang turun di seluruh areal. Hal ini akan menyulitkan dalam menentukan hubungan antara debit banjir dan curah hujan yang mengakibatkan banjir tersebut.

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah atau curah hujan daerah yang dinyatakan dalam satuan milimeter (Sosrodarsono, 2003 : 27).

Secara umum terdapat tiga metode untuk mendapatkan curah hujan rerata daerah, yaitu:

1. Metode Rata-rata Aljabar
2. Metode Poligon Thiessen

Untuk daerah tinjauan dengan luas 120.000-500.000 ha yang memiliki beberapa stasiun pengamatan tersebar cukup merata dan dimana curah hujannya tidak terlalu

dipengaruhi oleh kondisi topografi dapat menggunakan metode rata-rata aljabar, tetapi jika stasiun pengamatan tersebar tidak merata Selain berdasarkan stasiun pengamatan, curah hujan daerah dapat dihitung dengan parameter luas daerah tinjauan sebagai berikut (Sosrodarsono, 2003: 51):

1. Untuk daerah tinjauan dengan luas 250 ha dengan variasi topografi kecil diwakili oleh sebuah stasiun pengamatan.
2. Untuk daerah tinjauan dengan luas 250-50.000 ha yang memiliki 2 atau 3 stasiun pengamatan dapat menggunakan metode rata-rata aljabar.
3. Untuk daerah tinjauan dengan luas 120.000-500.000 ha yang memiliki beberapa stasiun pengamatan tersebar cukup merata dan dimana curah hujannya tidak terlalu dipengaruhi oleh kondisi topografi dapat menggunakan metode rata-rata aljabar, tetapi jika stasiun pengamatan tersebar tidak merata dapat menggunakan metode Thiessen.
4. Untuk daerah tinjauan dengan luas lebih dari 500.000 ha menggunakan metode Isohiet atau metode potongan antara.

Daerah studi Sub DAS Kali Gunting memiliki luas DAS 326,31 km², sehingga untuk pemerataan hujannya dapat digunakan metode rerata aljabar atau cara poligon thiessen. Pada pekerjaan ini digunakan metode poligon thiessen dengan pertimbangan titiktitik stasiun hujan yang kurang tersebar merata, kemudian dengan metode ini dipertimbangkan juga luasan pengaruh dari sebaran stasiun hujannya.

2.2.3. Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran adalah suatu variabel yang didasarkan pada kondisi daerah pengaliran dan karakteristik hujan yang jatuh di daerah tersebut. Kondisi daerah pengaliran dan karakteristik hujan meliputi:

- a. Keadaan hujan
- b. Luas dan bentuk daerah aliran
- c. Kemiringan daerah aliran dan kemiringan dasar sungai
- d. Daya infiltrasi dan perkolasi tanah
- e. Kelembaban tanah
- f. Suhu udara, angin, dan evaporasi
- g. Tata guna lahan

Nilai koefisien pengaliran (C) adalah bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya air yang melimpas terhadap besarnya curah hujan. Angka koefisien pengaliran ini merupakan salah satu indikator untuk menentukan apakah suatu DAS tersebut telah mengalami gangguan fisik (Asdak, 2001: 157). Nilai koefisien pengaliran

(C) yang besar menunjukkan jumlah limpasan permukaan yang terjadi pada lahan tersebut besar, dengan kata lain kondisi tata air dan tata guna lahan pada lahan tersebut rusak. Sebaliknya nilai koefisien pengaliran yang kecil menunjukkan jumlah limpasan permukaan yang terjadi pada lahan tersebut kecil, dengan kata lain jumlah air yang meresap ke dalam tanah dan memberikan kontribusi (*recharge*) air tanah besar.

Koefisien pengaliran seperti disajikan pada tabel berikut, didasarkan dengan suatu pertimbangan bahwa koefisien tersebut sangat tergantung pada faktor-faktor fisik.

Harga koefisien pengaliran (C) untuk berbagai kondisi permukaan tanah dapat ditentukan sebagai berikut:

Tabel 2.1 Koefisien Pengaliran

Tata Guna Lahan	C	Tata Guna Lahan	C
• Perkantoran		• Tanah Lapang	
Daerah pusat kota	0,70-0,95	Berpasir, datar, 2%	0,05-0,10
Daerah sekitar kota	0,50-0,70	Berpasir, agak rata, 2-7%	0,10-0,15
• Perumahan		Berpasir, miring, 7%	0,15-0,20
Rumah tunggal	0,30-0,50	Tanah berat, datar, 2%	0,13-0,17
Rumah susun, terpisah	0,40-0,60	Tanah berat, agak rata, 2-7%	0,18-0,22
Rumah susun, bersambung	0,60-0,75	Tanah berat, miring, 7%	0,25-0,35
Pinggiran kota	0,25-0,40	• Tanah Pertanian, 0-30%	
• Daerah Industri		Tanah kosong	
Kurang padat industri	0,50-0,80	Rata	0,30-0,60
Padat industri	0,60-0,90	Kasar	0,20-0,50
• Taman, Kuburan	0,10-0,25	Ladang garapan	
Tempat Bermain	0,20-0,35	Tanah berat, tanpa vegetasi	0,30-0,60
Daerah Stasiun KA	0,20-0,40	Tanah berat, dengan vegetasi	0,20-0,50
Daerah Tak Berkembang	0,10-0,30	Berpasir, tanpa vegetasi	0,20-0,25
• Jalan Raya		Berpasir, dengan vegetasi	0,10-0,25
Beraspal	0,70-0,95	Padang Rumput	
Berbeton	0,80-0,95	Tanah berat	0,15-0,45
Berbatu bata	0,70-0,85	Berpasir	0,05-0,25
• Trotoar	0,75-0,85	Hutan/bervegetasi	0,05-0,25
• Daerah beratap	0,75-0,95	• Tanah Tidak Produktif, >30%	
		Rata, kedap air	0,70-0,90
		Kasar	0,50-0,70

Sumber: Asdak, 2002: 164

Penentuan nilai koefisien pengaliran suatu daerah yang terdiri dari beberapa tataguna lahan dilakukan dengan mengambil angka rata-rata koefisien pengaliran dari setiap tata guna lahan dengan menghitung bobot masing-masing bagian sesuai dengan luas daerah yang diwakilinya. Adapun cara perhitungannya dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Suhardjono, 1984:23):

$$C_m = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + \dots + C_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2-4)$$

$$\text{atau, } C_m = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2-5)$$

dengan :

C_m = koefisien pengaliran rata-rata.

C_1, C_2, \dots, C_n = koefisien pengaliran yang sesuai kondisi permukaan.

A_1, A_2, \dots, A_n = luas daerah pengaliran yang disesuaikan kondisi permukaan.

2.2.4. Analisa Debit Puncak dengan Metode Rasional Modifikasi

Metode Rasional Modifikasi merupakan pengembangan dari metode Rasional, dimana waktu konsentrasi curah hujan yang terjadi lebih lama. Metode Rasional Modifikasi mempertimbangkan pengaruh tampungan dalam memperkirakan debit puncak limpasan. Metode ini sudah dikembangkan sehingga konsep metode Rasional dapat digunakan dalam pembuatan hidrograf untuk perancangan tampungan pada daerah aliran seluas 20 atau 30 Ha. Rumus Metode Rasional Modifikasi dalam menentukan debit puncak, adalah sebagai berikut (Lewis. K. V, 1975: 9):

$$Q_p = 0,278 \cdot C_s \cdot C \cdot I \cdot A \quad (2 - 6)$$

dengan :

Q = debit puncak dengan kala ulang tertentu (m^3/dt)

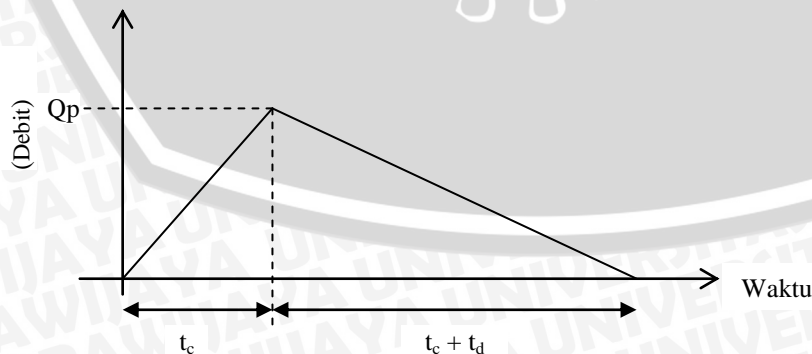
I = intensitas hujan rata-rata dalam t jam (mm/jam)

C = koefisien limpasan

A = luas daerah pengaliran (km^2)

C_s = koefisien tampungan

0.278 = faktor koreksi



Gambar 2.2 Hidrograf Rancangan Metode Rasional Modifikasi

2.2.4.1. Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi curah hujan dalam periode tertentu yang dinyatakan dalam satuan mm/jam. Besarnya intensitas curah hujan berbeda-beda disebabkan oleh lamanya curah hujan atau frekuensi kejadian. Dalam studi ini, rumus empiris untuk menghitung intensitas hujan dalam menentukan debit puncak dengan metode Rasional Modifikasi, digunakan rumus Mononobe (Sosrodarsono, 2003: 32) :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2-7)$$

dengan:

- I = intensitas hujan (mm/jam)
- R_{24} = curah hujan maksimum 24 jam (mm)
- t = waktu konsentrasi (jam)

2.2.4.2. Waktu Konsentrasi (T_c)

Waktu konsentrasi adalah waktu perjalanan yang diperlukan oleh air dari tempat paling jauh (hulu DAS) sampai titik pengamatan aliran air (*outlet*). Dalam metode Rasional Modifikasi, untuk menentukan waktu konsentrasi menggunakan rumus (Lewis. K. V, 1975: 9):

$$T_c = T_o + T_d \quad (2-8)$$

dengan :

- T_c = waktu konsentrasi (jam)
- T_o = *Overland flow time* atau waktu yang dibutuhkan limpasan (*run off*) untuk mengalir melalui permukaan tanah ke outlet terdekat, dinyatakan dalam satuan jam. Nilai T_o didapat dari rumus (Suripin, 2004: 82):

$$T_o = 2/3 \cdot 3,28 \cdot L \cdot (n/S^{1/2}) \quad (2-9)$$

- dengan: L = panjang lintasan aliran di atas permukaan lahan (m)
- n = angka kekasaran Manning (sungai alam antara 0,035-0,05)
- S = kemiringan lahan (m/m)

T_d = *Drain flow time* atau waktu aliran dimana air jatuh pada titik awal ke outlet, dinyatakan dalam satuan jam. T_d dapat ditentukan dari kondisi pada saluran, jika aliran dimana parameter-parameter hidroliknya sulit ditentukan maka T_d dapat diperkirakan dengan menggunakan kecepatan aliran, dengan rumus (Lewis. K. V, 1975: 9):

$$T_d = \frac{L}{v} \text{ (jam)} \quad (2-10)$$

dengan :

L = panjang sungai (m)

v = kecepatan aliran rerata (m/dt)

dimana nilai v didapat dari rumusan (Anonim, *Highway Design Manual*: 2001):

$$v = 4,918(S)^{0,5} \quad (\text{untuk permukaan tertutup})$$

$$v = 6,196(S)^{0,5} \quad (\text{untuk permukaan tidak tertutup}) \quad (2-11)$$

dengan: S = kemiringan sungai (%)

2.2.4.3. Koefisien Tampungan (C_s)

Suatu areal DAS yang semakin luas akan berdampak terhadap besarnya tampungan di sungai, sehingga berakibat juga terhadap besar debit banjir yang terjadi. Oleh karena itu, faktor koefisien tampungan diperhitungkan dalam metode rasional modifikasi. Koefisien tampungan dapat dirumuskan, sbb (Lewis. K. V, 1975: 12):

$$C_s = \frac{2T_c}{2T_c + T_d} \quad (2-12)$$

dengan :

T_c = waktu konsentrasi (jam)

T_d = *Drain flow time* (jam)

2.3 Erosi

Erosi adalah suatu peristiwa hilang atau terkikisnya tanah atau bagian tanah dari suatu tempat yang terangkut ke tempat lain, baik disebabkan oleh pergerakan air atau angin (Arsyad, 1983).

2.3.1. Proses Erosi

Dua penyebab utama terjadinya erosi adalah erosi karena sebab alamiah dan erosi karena aktivitas manusia. Erosi alamiah dapat terjadi karena proses pembentukan tanah dan proses erosi yang terjadi untuk mempertahankan keseimbangan tanah secara alami. Erosi karena faktor alamiah umumnya masih memberikan media yang memadai untuk berlangsungnya pertumbuhan kebanyakan tanaman. Erosi karena kegiatan manusia kebanyakan disebabkan oleh terkelupasnya lapisan tanah bagian atas akibat cara bercocok tanam yang tidak mengindahkan kaidah-kaidah konservasi tanah atau kegiatan pembangunan yang bersifat merusak keadaan fisik tanah, antara lain pembuatan jalan di daerah dengan kemiringan lereng besar.

Proses erosi bermula dengan terjadinya penghancuran agregat tanah sebagai akibat pukulan air hujan yang mempunyai energi lebih besar daripada daya tahan tanah. Pada saat hujan mengenai kulit bumi, maka secara langsung akan menyebabkan hancurnya agregat tanah. Penghancuran dari agregat tanah dipercepat dengan adanya daya penghancuran dan daya urai dari air itu sendiri. Hancuran agregat tanah ini akan menyumbat pori-pori tanah, kemudian kapasitas infiltrasi tanah akan menurun dan mengakibatkan air mengalir dipermukaan sebagai limpasan permukaan. Limpasan permukaan mempunyai energi untuk mengikis dan mengangkut partikel tanah yang telah hancur. Selanjutnya jika tenaga limpasan permukaan sudah tidak mampu lagi mengangkut bahan-bahan hancuran tersebut, maka bahan-bahan ini akan diendapkan. Dengan demikian 3 bagian yang berurutan tersebut, adalah sebagai berikut:

1. Pengelupasan (*detachment*);
2. Pengangkutan (*transportation*);
3. Pengendapan (*sedimentation*)

2.3.2. Sedimentasi

Tanah dan bagian-bagian tanah yang terangkut dari suatu tempat yang tererosi secara umum disebut dengan sedimen. Bahan sedimen hasil erosi seringkali bergerak menempuh jarak yang pendek sebelum akhirnya diendapkan. Hanya sebagian atau bahkan hanya sebagian kecil saja material sedimen yang tererosi di lahan (DAS). Hasil erosi yang mencapai outlet biasa disebut *yield sediment* (Suripin, 2004:81).

Sudah menjadi pengetahuan umum bahwa hanya sebagian, atau bahkan hanya sebagian kecil material sedimen yang tererosi di lahan (DAS) mencapai *outlet basin* tersebut, atau sungai/saluran terdekat. Dalam perjalanannya dari tempat terjadinya erosi lahan sampai outlet terjadi pengendapan atau deposisi.

Perbandingan antara sedimen yang terukur di *outlet* dan erosi di lahan biasa disebut Nisbah pengangkutan Sedimen (NPS) atau *Sediment Delivery Ratio* (SDR) (Suripin, 2002 : 8 1). SDR merupakan proses yang sangat kompleks, tidak sekedar fungsi luas DAS akan tetapi hampir semua karakteristik DAS berpengaruh terhadap nilai SDR. Salah satu cara untuk menentukan besarnya SDR adalah dengan menggunakan Persamaan di bawah ini (Asdak, 2002: 408) :

$$D = \frac{Y}{T} \quad (2-13)$$

dengan : D = nisbah pengangkutan sedimen atau *Sediment Delivery Ratio* (SDR)

Y = hasil sedimen yang diperoleh di *outlet* DAS

T = erosi total yang berasal dari daerah tangkapan air (termasuk erosi parit, erosi kulit dan erosi alur) yang berlangsung di bagian atas *outlet*.

Estimasi SDR biasanya dihubungkan secara empirik dengan luas DAS sebagai:

$$\alpha A^{\beta} = \text{SDR} \quad (2-14)$$

dengan A = luas DAS serta α dan β sebagai konstanta-konstanta empirik yang dapat diperoleh dari persamaan regresi. Konsep baru untuk mengestimasi SDR dibangun berdasarkan representasi proses fisik transpor sedimen pada lereng DAS dan sistem saluran yang masing-masing berfungsi sebagai sub-sistem penyimpan sedimen (Sivapalan *et al.*, 2002).

Nilai SDR mendekati satu (100%) artinya semua tanah yang tererosi masuk ke dalam sungai hanya mungkin terjadi pada daerah aliran sungai kecil dan yang tidak mempunyai daerah-daerah datar atau yang memiliki lereng-lereng curam, banyak butir-butir tanah halus yang terangkut, kecepatan drainasi yang tinggi, atau secara umum dikatakan tidak memiliki sifat yang cenderung menghambat pengendapan sedimen di daerah aliran (Arsyad, 2006:11). Besarnya SDR dalam perhitungan-perhitungan erosi atau hasil sedimen untuk suatu daerah aliran sungai umumnya ditentukan dengan menggunakan grafik hubungan luas DAS dan besarnya SDR seperti dikemukakan oleh Roehl (1962) dalam Asdak C. (2007) dalam Sucipto (2008). Hubungan antara luas DAS dan besarnya SDR dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Hubungan Antara Luas DAS dan SDR

Luas		SDR
Km ²	Ha	
0,10	10	0,52
0,50	50	0,39
1,00	100	0,35
5,00	500	0,25
10,00	1000	0,22
50,00	5000	0,153
100,00	10000	0,127
500,00	50000	0,079

Sumber: Sitmala Arsyat, 2000

2.3.3. Klasifikasi Erosi

Menurut Utomo (1994), para pakar konservasi tanah pada mulanya mengklasifikasikan erosi berdasarkan bentuknya, yaitu :

- a) Erosi Lembar (*sheet erosion*)

- b) Erosi Alur (*rill erosion*)
- c) Erosi Selokan (*gully erosion*)

Klasifikasi tersebut diatas saat sekarang dirasa kurang sesuai, karena dalam klasifikasi tersebut tidak memperhitungkan kekurangan agregat yang terjadi karena pukulan air hujan. Pukulan air hujan merupakan fase pertama dan terpenting dari erosi. Oleh karena itu Morgan (1979) dalam Utomo, Wani Hadi (1994: 20) membedakan bentuk erosi menjadi:

- a) Erosi Percikan (*splash erosion*);
- b) Erosi Limpasan Permukaan (*overland flow / surface run off erosion*);
- c) Erosi Alur (*riil erosion*);
- d) Erosi Selokan atau Erosi Parit (*gully erosion*).

Erosi percikan (*splash erosion*) adalah proses terkelupasnya partikel-partikel tanah bagian atas oleh tenaga kinetik air hujan bebas atau sebagai air lolos. Tenaga kinetik tersebut ditentukan oleh dua hal, yaitu massa dan kecepatan jatuhnya air. Tenaga kinetik bertambah besar dengan bertambah besarnya diameter air hujan dan jarak antara ujung daun penetes (*driplets*) dan permukaan tanah (pada proses erosi dibawah tegakan vegetasi).

Erosi limpasan permukaan (*overland flow/surface run off erosion*) mempunyai kemampuan untuk mengikis tanah tidak sama pada semua tempat, karena tebal aliran air yang tidak pernah merata. Daya rusak limpasan permukaan terutama dipengaruhi oleh kecepatan aliran. Pada kecepatan yang rendah dan aliran tenang, limpasan permukaan tidak menyebabkan erosi. Setelah mencapai nilai kecepatan tertentu, limpasan permukaan mampu mengerosi tanah yakni apabila energi limpasan permukaan lebih besar dari ketahanan tanah.

Erosi alur (*rill erosion*) adalah pengelupasan yang diikuti dengan pengangkutan partikel-partikel tanah oleh aliran air larian yang terkonsentrasi di dalam saluran-saluran air. Hal ini terjadi ketika air larian masuk ke dalam cekungan permukaan tanah, sehingga kecepatan air larian meningkat, dan akhirnya terjadilah transpor sedimen. Tipe erosi alur umumnya dapat dijumpai pada lahan-lahan garapan dan dibedakan dari erosi kulit (*gully erosion*) dalam hal ini erosi alur dapat diatasi dengan cara pengerjaan atau pencangkulan tanah.

Erosi parit (*gully erosion*) membentuk jajaran parit yang lebih dalam dan lebar dan merupakan tingkat lanjutan dari erosi alur. Pada kondisi tertentu, terutama oleh perubahan-perubahan geologis atau karena pengaruh aktivitas manusia, proses pembentukan erosi

parit tidak pernah sampai pada tahap lanjutan. Secara umum erosi parit dapat terjadi serentak atau pada waktu yang berbeda.

Pengamatan di Indonesia, disamping keempat bentuk tersebut ternyata sering kali juga terjadi perpindahan massa tanah secara bersama-sama. Kejadian ini terutama terjadi pada tanah dengan lapisan atas yang sangat dangkal, atau terletak diatas lapisan tanah yang tidak tembus air, dan juga pada teras yang baru dibangun. Proses ini oleh Carson dan Utomo (1986) disebut erosi massa (*mass wasting*) untuk membedakan dengan tanah longsor. Disamping kelima bentuk tersebut, ada bentuk khusus erosi yaitu tanah longsor (*land slide*) dan erosi yang terjadi pada tebing sungai, danau atau laut (*stream bank erosion*).

Erosi massa (*mass wasting*) terjadi dengan cara sejumlah tanah secara bersama-sama berpindah terangkut oleh air yang terkumpul. Erosi terjadi karena adanya pengumpulan air pada lapisan tanah atas, yang berada diatas lapisan tidak tembus air. Proses erosi massa terutama terjadi pada lahan miring yang kedalaman efektifnya dangkal.

Erosi tebing sungai (*streambank erosion*) adalah pengikisan tanah pada tebing- tebing sungai dan penggerusan dasar sungai oleh aliran air sungai. Erosi tebing sungai dipengaruhi, antara lain oleh kecepatan aliran, kondisi vegetasi di sepanjang tebing sungai, kegiatan bercocok tanam di pinggir sungai, kedalaman dan lebar sungai, bentuk alur sungai, dan tekstur tanah. Alur sungai yang tidak teratur dengan banyak rintangan seperti tanggul pencegah tanah longsor, dapat mempertajam kelokan sungai dan menjadi penyebab utama erosi sepanjang tebing sungai.

2.3.4. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Erosi

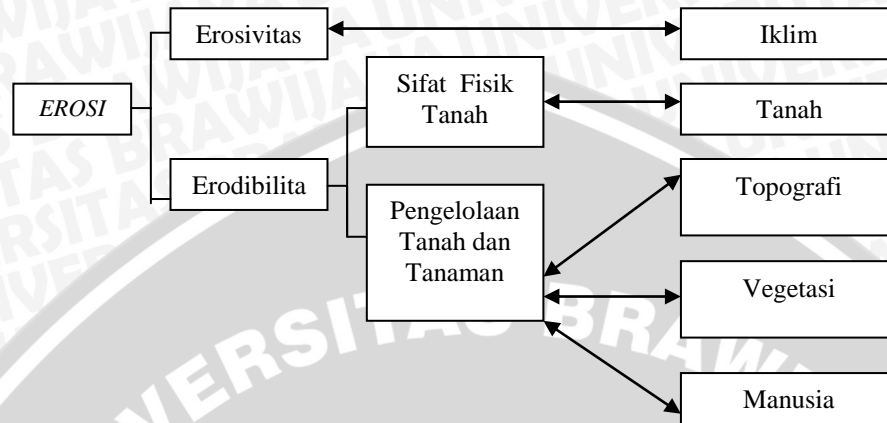
Erosi terjadi melalui proses penghancuran atau pengikisan, pengangkutan dan pengendapan. Hudson (1976) dalam Utomo (1994) melihat erosi dari dua segi yaitu faktor penyebab, yang dinyatakan dalam erosivitas, dan faktor tanah yang dinyatakan dalam erodibilitas. Jadi kalau dinyatakan dalam fungsi maka :

$$E = f \{ \text{Erosivitas} , \text{Erodibilitas} \}$$

Di alam, proses erosi tidak hanya hasil kali erosivitas dan erodibilitas saja, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kedua variabel tersebut. Erosivitas dalam erosi air merupakan manifestasi hujan, dipengaruhi oleh adanya vegetasi dan kemiringan, dan erodibilitas juga dipengaruhi oleh adanya vegetasi. Dan akhirnya aktivitas manusia tentunya juga sangat mempengaruhi faktor-faktor tersebut. Oleh karena itu dapat dikemukakan pula bahwa erosi adalah fungsi dari hujan (H), Tanah (T), Kemiringan (K), Vegetasi (V), dan Manusia (M). Jadi apabila dinyatakan dalam fungsi, maka :

$$E = f \{H, T, K, V, M\}$$

Artinya erosi akan dipengaruhi oleh sifat hujan, tanah, derajat dan panjang lereng, adanya penutup tanah yang berupa vegetasi dan aktivitas manusia dalam hubungannya dengan pemakaian tanah.



Gambar 2.3 Klasifikasi Faktor Penyebab Erosi Menurut USDA dan Hudson (1976)

Sumber: Kartasapoetra (2000)

Menurut Asdak (2002) empat faktor utama yang dianggap terlibat dalam proses erosi adalah :

1. Iklim

Pengaruh iklim terhadap erosi dapat bersifat langsung atau tidak langsung. Pengaruh langsung adalah melalui tenaga kinetis air hujan, terutama intensitas dan diameter butiran air hujan. Sedangkan pengaruh iklim tidak langsung ditentukan melalui pengaruhnya terhadap pertumbuhan vegetasi. Di daerah yang beriklim basah faktor iklim yang mempengaruhi erosi adalah hujan. Besar intensitas dan distribusi hujan menentukan kekuatan dispersi hujan terhadap tanah, jumlah dan kecepatan aliran permukaan dan kerusakan erosi.

2. Sifat-sifat tanah

Empat sifat tanah yang penting dalam menentukan erodibilitas tanah (mudah-tidaknya tanah tererosi) adalah :

- a) Tekstur tanah berkaitan dengan ukuran dan porsi partikel-partikel tanah dan akan membentuk tipe tanah tertentu. Tiga unsur utama tanah adalah pasir (*sand*), debu (*silt*), dan liat (*clay*). Tanah dengan unsur dominan liat, ikatan antar partikel tanah tergolong kuat sehingga tidak mudah tererosi. Untuk tanah dengan unsur dominan pasir (tanah dengan tekstur kasar), kemungkinan untuk terjadinya erosi pada jenis tanah ini adalah rendah karena laju infiltrasi di tempat ini besar sehingga

menurunkan laju air larian. Pada tanah dengan unsur utama debu dan pasir lembut serta sedikit unsur organik, memberikan kemungkinan yang lebih besar untuk terjadinya erosi.

- b) Unsur organik cenderung memperbaiki struktur tanah dan bersifat meningkatkan permeabilitas tanah, kapasitas tampung air tanah, kesuburan tanah, menghambat kecepatan air larian, sehingga dapat menurunkan terjadinya erosi.
- c) Struktur tanah adalah susunan partikel-partikel tanah yang membentuk agregat. Struktur tanah mempengaruhi kemampuan tanah dalam menyerap air tanah. Misalnya, struktur tanah granuler dan lepas mempunyai kemampuan besar dalam meloloskan air larian, sehingga menurunkan laju air larian dan memacu pertumbuhan tanaman.
- d) Permeabilitas tanah menunjukkan kemampuan tanah dalam meloloskan air. Tanah dengan permeabilitas tinggi menaikkan laju infiltrasi, sehingga menurunkan laju air larian.

3. Topografi

Kemiringan dan panjang lereng adalah dua faktor yang menentukan karakteristik topografi suatu daerah aliran sungai. Faktor-faktor tersebut menentukan besarnya kecepatan dan volume air larian.

4. Vegetasi penutup tanah

Pengaruh vegetasi penutup tanah terhadap erosi adalah :

- a) Melindungi permukaan tanah dari tumbukan air hujan
- b) Menurunkan kecepatan dan volume air larian
- c) Menahan partikel-partikel tanah pada tempatnya melalui sistem penakaran dan seresah yang dihasilkan
- d) Mempertahankan kemantapan kapasitas tanah dalam menyerap air.

2.3.5 Pendugaan Laju Erosi Berdasarkan Metode MUSLE

Pengukuran dan pendugaan erosi sulit untuk dilakukan dengan tepat karena proses kejadian dan faktor yang mempengaruhinya sangat kompleks. Tetapi dengan beberapa asumsi dan penyederhanaan, pengukuran dan pendugaan erosi dapat dilakukan dengan tingkat pendekatan yang bisa diterima.

Ada berbagai macam cara pengamatan atau pengukuran erosi yang terjadi, antara lain dengan pengamatan langsung di lapangan, interpretasi peta topografi dan foto udara dan pengukuran langsung dengan percobaan. Dalam studi ini, untuk memperkirakan besarnya erosi menggunakan metode MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*). Metode

MUSLE merupakan modifikasi dari metode USLE (*Universal Soil Loss Equation*) yang dikembangkan oleh Williams (1975). Pada metode MUSLE, faktor energi curah hujan (R) digantikan dengan faktor limpasan permukaan (Rw). Metode MUSLE ini sudah memperhitungkan baik erosi maupun pergerakan sedimen pada DAS berdasarkan pada kejadian hujan tunggal (*single event*). Perhitungan SDR (*Sediment Delivery Ratio*) ini tidak diperlukan dalam perhitungan perkiraan hasil sedimen dengan MUSLE karena faktor limpasan permukaan menghasilkan energi yang digunakan dalam proses pelepasan dan pengangkutan sedimen. Secara matematis, persamaan metode MUSLE ini adalah sebagai berikut:

$$A = R_w \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (2-15)$$

dengan:

A = besarnya kehilangan tanah per satuan luas lahan (ton/ha/th)

Rw = faktor erosivitas limpasan permukaan (m²/jam)

K = faktor erodibilitas tanah, yaitu angka yang menunjukkan kemudahan tanah dan merupakan kehilangan tanah persatuan indeks erosivitas pada keadaan standard

L = faktor panjang lereng, yaitu nisbah kehilangan tanah terhadap kehilangan tanah dari lahan dengan panjang baku

S = faktor kemiringan, yaitu nisbah kehilangan tanah terhadap kehilangan tanah dari lahan dan lereng baku

C = faktor (pengelolaan) cara bercocok tanam yang tidak mempunyai satuan dan merupakan bilangan perbandingan antara besarnya kehilangan tanah pada kondisi cara bercocok tanam yang diinginkan dengan besarnya kehilangan tanah pada keadaan *tilled continuous fallow*

P = faktor praktek konservasi tanah (cara mekanik) yang tidak mempunyai satuan dan merupakan bilangan perbandingan antara besarnya kehilangan tanah pada kondisi usaha konservasi tanah ideal dengan besarnya kehilangan tanah pada kondisi penanaman tegak lurus terhadap garis kontur.

2.3.5.1 Indeks Erosivitas Hujan (Rw)

Erosivitas merupakan kemampuan hujan untuk menyebabkan terjadinya erosi. Erosivitas hujan sebagian terjadi karena pengaruh jatuhnya butir-butir hujan langsung di atas tanah dan sebagian lagi karena aliran air di atas permukaan tanah. Kemampuan air hujan sebagai penyebab terjadinya erosi adalah bersumber dari laju dan distribusi tetesan air hujan, dimana keduanya mempengaruhi besarnya energi kinetik hujan. Sehingga dapat

dikatakan bahwa erosivitas hujan sangat berkaitan dengan energi kinetis dan momentum, yaitu parameter yang berasosiasi dengan laju curah hujan atau volume hujan.

Indeks erosivitas untuk pendugaan besarnya laju erosi dalam studi ini menggunakan analisa Williams. Analisa indeks erosivitas menurut Williams (1975) ini digunakan pada daerah aliran yang cukup luas, selama erosi juga terjadi pengendapan dalam proses pengangkutan. Hasil endapan dipengaruhi oleh limpasan permukaan. Dalam rumus ini, Williams mengadakan modifikasi USLE untuk menduga hasil endapan dari setiap kejadian limpasan permukaan dengan cara mengganti indeks erosivitas (R) dengan erosivitas limpasan permukaan (Rw). Dengan rumus-rumus sebagai berikut (Utomo, W. H, 1994: 155):

$$Rw = 9,05 \cdot (Vo \cdot Qp)^{0,56} \quad (2-16)$$

$$Vo = R \cdot \exp(-Rc / Ro) \quad (2-17)$$

$$Rc = 1000 \cdot MS \cdot \rho_b \cdot RD \cdot (Et / Eo)^{0,50} \quad (2-17)$$

$$Ro = R / Rn \quad (2.20) \quad (2-18)$$

dengan :

Rw = indeks erosivitas limpasan permukaan (m^2 / jam)

Vo = volume limpasan permukaan (m^3)

Qp = laju maksimum aliran air permukaan (m^3 / det)

R = jumlah curah hujan rerata bulanan (mm)

MS = kandungan massa pada kapasitas lapang (% w/w)

ρ_b = berat jenis volume lapisan tanah atas (mg / m^{-3})

RD = kedalaman tanah lapisan atas

(tanaman keras, tanaman kayu = 0,10 m; rumput dan padi-padian = 0.05 m)

Et/Eo = perbandingan evapotranspirasi aktual (Et) dengan evapotraspirasi potensial (Eo)

Rn = jumlah hari hujan rerata bulanan (hari)

Ro = rerata hujan setiap harinya (mm/hari)

Tabel 2.3 Nilai MS dan ρ_b pada Berbagai Macam Tekstur Tanah

Tekstur Tanah	MS (% w/w)	ρ_b (Mg/m ³)
Liat (clay)	45	1,1
Lempung berliat	40	1,3
Liat berdebu	30	-
Lempung berpasir	28	1,2
Lempung berdebu	25	1,3
Lempung	20	1,3
Pasir halus	15	1,4
Pasir	8	1,5

Sumber: Utomo.1994: 155

Tabel 2.4 Nilai Et/Eo Beberapa Macam Tanaman

Tanaman	Et/Eo
Padi sawah	1,35
Wheat	0,60
Jagung	0,67 – 0,70
Cassava	0,62
Kentang	0,70 – 0,80
Beans	0,62 – 0,69
Kacang tanah	0,50 – 0,87
Teh	0,85 – 1,00
Karet	0,90
Kelapa sawit	1,20
Rumput prairie	0,80 – 0,95
Hutan	0,90 – 1,00
Tanah Bero	0,05

Sumber: Utomo, 1994:157

2.3.5.2 Indeks Erodibilitas (K)

Erodibilitas tanah adalah tingkat kepekaan tanah terhadap erosi. Indeks erodibilitas tanah menunjukkan resistensi partikel tanah terhadap pengelupasan dan transportasi partikel-partikel tanah tersebut oleh adanya energi kinetik hujan. Besarnya resistensi tergantung pada topografi, kemiringan lereng, dan besarnya gangguan oleh manusia. Besarnya erodibilitas atau resistensi tanah juga ditentukan oleh karakteristik tanah seperti tekstur tanah, stabilitas agregat tanah, kapasitas infiltrasi, serta kandungan organik dan kimia tanah. Karakteristik tanah tersebut bersifat dinamis, selalu berubah oleh karena itu karakteristik tanah dapat berubah seiring dengan perubahan waktu dan tata guna lahan atau sistem pertanaman. Perubahan erodibilitas tanah yang signifikan berlangsung ketika terjadi hujan karena pada waktu tersebut partikel-partikel tanah mengalami perubahan orientasi dan karakteristik bahan kimia dan fisik tanah.

Peranan tanah terhadap besar kecilnya erodibilitas tanah adalah besar. Tanah dengan partikel agregat besar resistensinya terhadap daya angkut air larian juga besar karena diperlukan energi cukup besar untuk mengangkut partikel-partikel tanah tersebut. Sedangkan tanah dengan partikel agregat halus resistensinya terhadap pengelupasan karena sifat kohesi tanah tersebut juga besar.

Kepekaan suatu tanah terhadap erosi atau nilai erodibilitas suatu tanah ditentukan oleh ketahanan tanah terhadap gaya rusak dari luar serta kemampuan tanah untuk menyerap air.

Dalam penentuan nilai K dapat dilihat pada tabel hasil *Screening Study Brantas Watershed* dan beberapa hasil penelitian Pusat Penelitian Tanah (PPT) Bogor dan PSLH Unibraw:

Tabel 2.5 Nilai K Hasil Penelitian Beberapa Jenis Tanah

No.	Jenis Tanah	Nilai K
1	Latosol Dermaga (Haplartnox)	0,03
2	Latosol Citayam (Haplartnox)	0,09
3	Regosol Tanjungharjo (Tropothens)	0,14
4	Grumosol Jegu (Caromuderts)	0,27
5	Podsolik Jonggol (Tropudults)	0,16
6	Citaman (Troponumults)	0,1
7	Mediteran Putat (Tropudalis)	0,23
8	Mediteran Punung (Tropuqualis)	0,22
9	Latosol Merah (Humox)	0,12
10	Regosol (Oxiedystropept)	0,12
11	Latosol Merah Kuning (Typic Naplartnox)	0,26
12	Latosol Coklat (Typic Tropudult)	0,23
13	Lithosol pada lereng tajam (Lytic Tropotlnert/Dystropept)	0,27
14	Regosol di atas Kolovium (Oxic Dystropept)	0,16
15	Regosol pada puncak bukit (Typic Entropept)	0,29
16	Gley Humic (Typic Tropuguep/Aquic Entropept)	0,13 (Clay)
		0,26 (Silty Clay)
17	Litosol (Litnic Eutropept/Orthen)	0,16 (Clay)
		0,29 (Silty Clay)
18	Grumosol (Caromuderts)	0,21
19	Regosol (typic Dytropept)	0,31
20	Latosol Coklat (Epyquic Tropodults)	0,31
21	Gley Numic di atas teras (Tropaguept)	0,2
22	Hydromorf abu-abu (Tropolluent)	0,2
23	Andosol Batu	0,08-0,10
24	Andosol Pujon	0,04-0,10
25	Cambisol Pujon	0,12-0,16
26	Mediteran Ngantang	0,20-0,30
27	Litosol Blitar Selatan	0,26-0,30
28	Regosol Blitar Selatan	0,16-0,28
29	Latosol Blitar Selatan	0,14-0,20

Sumber : BRLKT Brantas

2.3.5.3 Faktor Panjang Lereng (L) dan Kemiringan Lereng (S)

Faktor panjang lereng (L) dan kemiringan lereng (S) mempengaruhi besarnya erosi yang terjadi. Sifat lereng yang mempengaruhi energi penyebab erosi adalah :

1. Kemiringan lereng
2. Panjang lereng
3. Bentuk lereng

Kemiringan mempengaruhi kecepatan dan volume limpasan permukaan. Pada dasarnya makin curam suatu lereng, maka persentase kemiringan lereng semakin besar,

sehingga semakin cepat laju limpasan permukaan. Hal ini akan menyebabkan volume limpasan yang semakin besar, karena singkatnya waktu untuk infiltrasi, dengan demikian laju erosi semakin besar.

Nilai panjang lereng rata-rata didapatkan dari pengukuran (*measur*) manual dari batas atas tiap sub sub DAS (nilai kontur tertinggi) hingga ke titik dimana aliran air terkonsentrasi pada saluran (nilai kontur terendah) pada *Arc View 3.3*. Sedangkan kemiringan lereng didapatkan dari analisa SIG (Atribut Subbasin: Slo 1).

Prakiraan erosi menggunakan persamaan MUSLE, komponen panjang dan kemiringan lereng diintegrasikan menjadi factor LS dan ditetapkan sebagai berikut:

Tabel 2.6 Nilai Faktor Panjang Lereng (L)

Rata-rata Panjang Lereng (m)	Nilai L
50	1,5
75	1,8
150	2,7
300	3,7

Sumber: Dirjen RLKT

Tabel 2.7 Nilai Faktor Kemiringan Lereng (S)

Kelas Lereng	Kemiringan (%)	Nilai S
I	0 – 3	0,1
II	3 – 8	0,5
III	8 – 15	1,4
IV	15 – 25	3,1
V	25 – 40	6,1
VI	40 – 65	11,9

Sumber: Dirjen RLKT

2.3.5.4 Faktor Pengelolaan Tanaman (C) Dan Konservasi Tanah (P)

Faktor pengelolaan tanaman menunjukkan keseluruhan vegetasi, seresah, kondisi permukaan tanah, dan pengelolaan lahan terhadap besarnya tanah yang hilang (erosi). Besarnya faktor pengelolaan tanaman (C) tergantung dari jenis, intensitas, kombinasi, kemampuan, panen, dan rotasi tanaman. Lahan dengan jenis tanaman yang sama tetapi ditanami secara intensif tanpa istirahat akan menghasilkan nilai C yang lebih besar dari pada lahan yang diistirahatkan setelah panen sehingga dapat mengembalikan unsur hara dan kandungan organiknya.

Faktor pengelolaan dan konservasi tanah (P) adalah nisbah antara tanah tererosi rata-rata dari lahan yang mendapat perlakuan konservasi tertentu terhadap tanah tererosi rata-

rata dari lahan yang diolah tanpa tindakan konservasi, dengan catatan faktor-faktor penyebab erosi yang lain diasumsikan tidak berubah. Praktek bercocok tanam yang kondusif terhadap penurunan kecepatan air larian dan yang memberikan kecenderungan bagi air larian untuk mengalir ke tempat yang lebih rendah dapat memperkecil nilai P (Asdak, 2002 : 374).

Penilaian faktor P di lapangan lebih mudah bila digabungkan dengan faktor C karena dalam kenyataannya, kedua faktor tersebut berkaitan erat. Beberapa nilai faktor CP telah dapat ditentukan berdasarkan penelitian di Jawa seperti pada tabel 2.8.

Tabel 2.8 Perkiraan Nilai Factor CP Berbagai Jenis Penggunaan Lahan di Jawa

Konservasi dan Pengelolaan Tanaman	Nilai CP
Hutan :	
a. Tak terganggu	0,01
b. Tanpa tumbuhan bawah, disertai seresah	0,05
c. Tanpa tumbuhan bawah, tanpa seresah	0,50
Semak :	
a. Tak terganggu	0,01
b. Sebagian rumput	0,10
Kebun :	
a. Kebun-talun	0,02
b. Kebun-pekarangan	0,20
Perkebunan :	
a. Penutupan tanah sempurna	0,01
b. Penutupan tanah sebagian	0,07
Perumputan :	
a. Penutupan tanah sempurna	0,01
b. Penutupan tanah sebagian, ditumbuhi alang-alang	0,02
c. Alang-alang, pembakaran sekali setahun	0,06
d. Serai wangi	0,65
Tanaman Pertanian :	
a. Umbi-umbian	0,51
b. Biji-bijian	0,36
c. Kacang-kacangan	0,43
d. Campuran	0,02
e. Padi irigasi	
Perladangan :	
a. 1 tahun tanam-1 tahun bero	0,28
b. 1 tahun tanam- 2 tahun bero	0,19
Pertanian dengan konservasi :	
a. mulsa	0,14
b. teras bangku	0,04
c. <i>contour cropping</i>	0,14

Sumber : Asdak, 2002 : 376

2.4. Lahan Kritis

2.4.1. Definisi Lahan Kritis

Lahan kritis adalah lahan yang telah mengalami atau dalam proses kerusakan fisik, kimia, atau biologi yang akhirnya dapat membahayakan fungsi hidrologi, orologi, produksi pertanian, pemukiman, dan kehidupan sosial ekonomi dari daerah lingkungan pengaruhnya (Kuswanto dalam Hanipah, 2005:14).

Menurut Poerwowidodo (1990) lahan kritis adalah suatu keadaan lahan yang terbuka atau tertutupi semak belukar, sebagai akibat tererosi berat dan produktivitasnya rendah.

Lahan kritis merupakan tanah yang tidak dapat mengatur fungsinya lagi sebagai media pengatur tata air dan unsur produksi pertanian yang baik. Kerusakan lahan bisa berupa kerusakan fisik, kimia, maupun biologi yang terjadi secara bersama, saling terkait, atau sejenis saja.

2.4.2. Pendugaan Kekritisan Lahan

Kekritisan lahan adalah suatu lahan yang keadaan fisiknya sedemikian rupa sehingga lahan tersebut tidak dapat berfungsi secara baik sesuai dengan peruntukannya baik sebagai media produksi maupun sebagai media tata air. Lahan yang tergolong kritis tersebut dapat berupa: (a) tanah gundul yang tidak bervegetasi sama sekali; (b) ladang alang-alang atau tanah yang ditumbuhi semak belukar yang tidak produktif; (c) areal berbatu-batu, berjurang atau berparit sebagai akibat erosi tanah; (d) tanah yang kedalaman solumnya sudah tipis sehingga tanaman tidak dapat tumbuh dengan baik; (e) tanah yang tingkat erosinya melebihi erosi yang diijinkan. Adapun macam-macam dari kekritisan lahan menurut Kebutuhan Riset, Inventarisasi dan Koordinasi Pengelolaan Sumber Daya Tanah adalah sebagai berikut (Notohadiprawiro : 1999):

(1) Potensial kritis

Tanah termasuk potensial kritis mempunyai ciri-ciri antara lain:

- a. Tanah yang bebas dari erosi (masih tertutup vegetasi), atau erosi ringan.
- b. Tanah umumnya mempunyai solum yang tebal dengan ketebalan 15 cm.
- c. Persentase tutupan tanah (vegetasi permanen) cukup rapat ($> 75\%$), lereng dan kesuburan tanah bervariasi.
- d. Tanah masih mempunyai fungsi produksi dan hidrologi, tetapi bahaya untuk menjadi kritis sangat besar bila tanah tersebut dibuka atau tidak dikelola dengan usaha konservasi.
- e. Tanah masih tertutup vegetasi, tetapi karena kondisi topografi atau keadaan lereng yang curam ($> 45\%$), kondisi tanah yang mudah longsor, maka bila vegetasi dibuka akan terjadi erosi berat.
- f. Tanah karena keadaan topografi dan bahan induknya, bila terbuka atau vegetasinya rusak akan cepat menjadi rusak karena erosi atau longsor
- g. Tanah yang produktivitasnya masih baik, tetapi penggunaannya tidak sesuai dengan kemampuannya dan belum dilakukan usaha konservasi.

(2) Semi kritis

Tanah termasuk semi kritis mempunyai ciri-ciri antara lain:

- a. Tanah telah mengalami erosi sedang, tetapi produktivitasnya rendah karena tingkat kesuburannya rendah.
- b. Tebal solum sedang (60-90 cm).
- c. Persentase vegetasi permanen 50-75 %, vegetasi dominan biasanya alang-alang, rumput, semak belukar, dan hutan jarang.

(3) Kritis

Tanah termasuk kritis mempunyai ciri-ciri antara lain:

- a. Tanah telah mengalami erosi berat.
- b. Tebal solum sedang-dangkal (< 60 cm).
- c. Vegetasi permanennya 25-50 %.
- d. Kemiringan lereng 15-25 %.
- e. Kesuburan tanah rendah.

(4) Sangat kritis

Tanah termasuk sangat kritis mempunyai ciri-ciri antara lain:

- a. Tanah telah mengalami erosi sangat berat, dengan dinding longsoran sangat terjal.
- b. Solum tanah sangat dangkal (< 30 cm).
- c. Vegetasi permanen sangat rendah (< 25 %) bahkan beberapa tempat tertentu gundul/tandus.
- d. Kemiringan lereng umumnya > 45 %.

2.4.3 Tingkat Bahaya Erosi

Tingkat bahaya erosi merupakan suatu perkiraan jumlah tanah hilang maksimum yang akan terjadi pada sebidang lahan, bila pengelolaan dan konservasi tanah tidak mengalami perubahan dalam jangka panjang. Dalam pelaksanaan program konservasi tanah salah satu informasi penting yang harus diketahui adalah tingkat bahaya erosi (TBE) dalam suatu DAS atau Sub DAS yang dikaji. Dengan mengetahui tingkat bahaya erosi (TBE) suatu DAS atau masing-masing Sub DAS maka prioritas tingkat kemampuan lahan dapat ditentukan.

Untuk menentukan TBE, Dirjen RLKT (Departemen Kehutanan) menggunakan pendekatan tebal solum tanah yang sudah ada dan besarnya erosi sebagai dasar. Makin dangkal solum tanahnya, berarti makin sedikit tanahnya yang tererosi, sehingga TBEnya sudah cukup besar meskipun tanah yang hilang belum terlalu besar (Hardjowigeno, 2003:

203). Pada tabel 2.9 disajikan penilaian TBE berdasarkan atas tebal solum tanah dan besarnya laju erosi.

Tabel 2.9 Klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi

Kedalaman Solum Tanah (cm)	Kelas Bahaya Erosi (ton/ha/thn)				
	I	II	III	IV	V
	<15	15 – 60	60 -180	180 - 480	> 480
a. Dalam (> 90)	SR	R	S	B	SB
b. Sedang (60-90)	R	S	B	SB	SB
c. Dangkal (30-60)	S	B	SB	SB	SB
d. Sangat dangkal (<30)	B	SB	SB	SB	SB

Sumber : Utomo, 1994: 59

Keterangan : SR= Sangat Ringan

R = Ringan

S = Sedang

B = Berat

SB= Sangat Berat

2.5 Klasifikasi Kemampuan Lahan

Klasifikasi kemampuan lahan adalah klasifikasi lahan yang dilakukan dengan metode faktor penghambat. Dengan metode ini setiap kualitas lahan atau sifat-sifat lahan diurutkan dari yang terbaik sampai yang terburuk atau dari yang paling kecil hambatan atau ancamannya sampai yang terbesar. Kemudian disusun tabel kriteria untuk setiap kelas; penghambat yang terkecil untuk kelas yang terbaik dan berurutan semakin besar hambatan semakin rendah kelasnya.

Sistem klasifikasi kemampuan lahan yang banyak dipakai di Indonesia dikemukakan oleh Hockensmith dan Steele (1943). Menurut sistem ini lahan dikelompokkan dalam tiga kategori umum yaitu Kelas, Subkelas dan Satuan Kemampuan (*capability units*) atau Satuan pengelompokan (*management unit*). Pengelompokan di dalam kelas didasarkan atas intensitas faktor penghambat. Jadi kelas kemampuan adalah kelompok unit lahan yang memiliki tingkat pembatas atau penghambat (*degree of limitation*) yang sama jika digunakan untuk pertanian yang umum (Sys *et al.*, 1991). Tanah dikelompokkan dalam delapan kelas yang ditandai dengan huruf Romawi dari I sampai VIII. Ancaman kerusakan atau hambatan meningkat berturut-turut dari Kelas I sampai kelas VIII.

Tanah pada kelas I sampai IV dengan pengelolaan yang baik mampu menghasilkan dan sesuai untuk berbagai penggunaan seperti untuk penanaman tanaman pertanian umumnya (tanaman semusim dan setahun), rumput untuk pakan ternak, padang rumput

atau hutan. Tanah pada Kelas V, VI, dan VII sesuai untuk padang rumput, tanaman pohon-pohonan atau vegetasi alami. Dalam beberapa hal tanah Kelas V dan VI dapat menghasilkan dan menguntungkan untuk beberapa jenis tanaman tertentu seperti buah-buahan, tanaman hias atau bunga-bunga dan bahkan jenis sayuran bernilai tinggi dengan pengelolaan dan tindakan konservasi tanah dan air yang baik. Tanah dalam lahan Kelas VIII sebaiknya dibiarkan dalam keadaan alami.

1. Kelas Kemampuan I

Lahan kelas kemampuan I mempunyai sedikit penghambat yang membatasi penggunaannya. Lahan kelas I sesuai untuk berbagai penggunaan pertanian, mulai dari tanaman semusim (dan tanaman pertanian pada umumnya), tanaman rumput, padang rumputm hutan produksi, dan cagar alam. Tanah-tanah dalam kelas kemampuan I mempunyai salah satu atau kombinasi sifat dan kualitas sebagai berikut: (1) terletak pada topografi datar (kemiringan lereng $< 3\%$), (2) kepekaan erosi sangat rendah sampai rendah, (3) tidak mengalami erosi, (4) mempunyai kedalaman efektif yang dalam, (5) umumnya berdrainase baik, (6) mudah diolah, (7) kapasitas menahan air baik, (8) subur atau responsif terhadap pemupukan, (9) tidak terancam banjir, (10) di bawah iklim setempat yang sesuai bagi pertumbuhan tanaman umumnya.

2. Kelas Kemampuan II

Tanah-tanah dalam lahan kelas kemampuan II memiliki beberapa hambatan atau ancaman kerusakan yang mengurangi pilihan penggunaannya atau mengakibatkannya memerlukan tindakan konservasi yang sedang. Lahan kelas II memerlukan pengelolaan yang hati-hati, termasuk di dalamnya tindakan-tindakan konservasi untuk mencegah kerusakan atau memperbaiki hubungan air dan udara jika tanah diusahakan untuk pertanian tanaman semusim. Hambatan pada lahan kelas II sedikit, dan tindakan yang diperlukan mudah diterapkan. Tanah-tanah ini sesuai untuk penggunaan tanaman semusim, tanaman rumput, padang penggembalaan, hutan produksi dan cagar alam.

Hambatan atau ancaman kerusakan pada lahan kelas II adalah salah satu atau kombinasi dari faktor berikut: (1) lereng yang landai atau berombak ($>3\% - 8\%$), (2) kepekaan erosi atau tingkat erosi sedang, (3) kedalaman efektif sedang (4) struktur tanah dan daya olah kurang baik, (5) salinitas sedikit sampai sedang atau terdapat garam Natrium yang mudah dihilangkan akan tetapi besar kemungkinannya timbul kembali, (6) kadang-kadang terkena banjir yang merusak, (7) kelebihan air dapat diperbaiki dengan drainase,

akan tetapi tetap ada sebagai pembatas yang sedang tingkatannya, atau (8) keadaan iklim agak kurang sesuai bagi tanaman atau pengelolannya.

3. Kelas Kemampuan III

Tanah-tanah dalam kelas III mempunyai hambatan yang berat yang mengurangi pilihan penggunaan atau memerlukan tindakan konservasi khusus atau keduanya. Tanah-tanah dalam lahan kelas III mempunyai pembatas yang lebih berat dari tanah-tanah kelas II dan jika digunakan bagi tanaman yang memerlukan pengolahan tanah, tindakan konservasi yang diperlukan biasanya lebih sulit diterapkan dan dipelihara. Lahan kelas III dapat digunakan untuk tanaman semusim dan tanaman yang memerlukan pengolahan tanah, tanaman rumput, padang rumput, hutan produksi, hutan lindung dan suaka marga satwa.

Hambatan yang terdapat pada tanah dalam lahan kelas III membatasi lama penggunaannya bagi tanaman semusim, waktu pengolahan, pilihan tanaman atau kombinasi pembatas-pembatas tersebut. Hambatan atau ancaman kerusakan mungkin disebabkan oleh salah satu atau beberapa hal berikut: (1) lereng yang agak miring atau bergelombang (>8 – 15%), (2) kepekaan erosi agak tinggi sampai tinggi atau telah mengalami erosi sedang, (3) selama satu bulan setiap tahun dilanda banjir selama waktu lebih dari 24 jam, (4) lapisan bawah tanah yang permeabilitasnya agak cepat, (5) kedalamannya dangkal terhadap batuan, lapisan padas keras (*hardpan*), lapisan padas rapuh (*fragipan*) atau lapisan liat padat (*claypan*) yang membatasi perakaran dan kapasitas simpanan air, (6) terlalu basah atau masih terus jenuh air setelah didrainase, (7) kapasitas menahan air rendah, (8) salinitas atau kandungan natrium sedang, (9) kerikil dan batuan di permukaan sedang, atau (1) hambatan iklim yang agak besar.

4. Kelas kemampuan IV

Hambatan dan ancaman kerusakan pada tanah-tanah di dalam lahan kelas IV lebih besar dari pada tanah-tanah di dalam kelas III, dan pilihan tanaman juga lebih terbatas. Jika digunakan untuk tanaman semusim diperlukan pengelolaan yang lebih hati-hati dan tindakan konservasi yang lebih sulit diterapkan dan dipelihara, seperti teras bangku, saluran bervegetasi dan dam penghambat, disamping tindakan yang dilakukan untuk memelihara kesuburan dan kondisi fisik tanah. Tanah di dalam kelas IV dapat digunakan untuk tanaman semusim dan tanaman pertanian dan pada umumnya, tanaman rumput, hutan produksi, padang penggembalaan, hutan lindung dan cagar alam.

Hambatan atau ancaman kerusakan tanah-tanah di dalam kelas IV disebabkan oleh salah satu atau kombinasi faktor-faktor berikut: (1) lereng yang miring atau berbukit ($> 15\% - 30\%$), (2) kepekaan erosi yang sangat tinggi, (3) pengaruh bekas erosi yang agak berat yang telah terjadi, (4) tanahnya dangkal, (5) kapasitas menahan air yang rendah, (6) selama 2 sampai 5 bulan dalam setahun dilanda banjir yang lamanya lebih dari 24 jam, (7) kelebihan air bebas dan ancaman penjenruhan atau penggenangan terus terjadi setelah didrainase (drainase buruk), (8) terdapat banyak kerikil atau batuan di permukaan tanah, (9) salinitas atau kandungan Natrium yang tinggi (pengaruhnya hebat), dan/atau (1) keadaan iklim yang kurang menguntungkan.

5. Kelas Kemampuan V

Tanah-tanah di dalam lahan kelas V tidak terancam erosi akan tetapi mempunyai hambatan lain yang tidak praktis untuk dihilangkan yang membatasi pilihan penggunaannya sehingga hanya sesuai untuk tanaman rumput, padang penggembalaan, hutan produksi atau hutan lindung dan cagar alam. Tanah-tanah di dalam kelas V mempunyai hambatan yang membatasi pilihan macam penggunaan dan tanaman, dan menghambat pengolahan tanah bagi tanaman semusim. Tanah-tanah ini terletak pada topografi datar tetapi tergenang air, selalu terlanda banjir, atau berbatu-batu (lebih dari 90 % permukaan tanah tertutup kerikil atau batuan) atau iklim yang kurang sesuai, atau mempunyai kombinasi hambatan tersebut.

Contoh tanah kelas V adalah: (1) tanah-tanah yang sering dilanda banjir sehingga sulit digunakan untuk penanaman tanaman semusim secara normal, (2) tanah-tanah datar yang berada di bawah iklim yang tidak memungkinkan produksi tanaman secara normal, (3) tanah datar atau hampir datar yang $> 90\%$ permukaannya tertutup batuan atau kerikil, dan atau (4) tanah-tanah yang tergenang yang tidak layak didrainase untuk tanaman semusim, tetapi dapat ditumbuhi rumput atau pohon-pohonan.

6. Kelas Kemampuan VI

Tanah-tanah dalam lahan kelas VI mempunyai hambatan yang berat yang menyebabkan tanah-tanah ini tidak sesuai untuk penggunaan pertanian. Penggunaannya terbatas untuk tanaman rumput atau padang penggembalaan, hutan produksi, hutan lindung, atau cagar alam. Tanah-tanah dalam lahan kelas VI mempunyai pembatas atau ancaman kerusakan yang tidak dapat dihilangkan, berupa salah satu atau kombinasi faktor-

faktor berikut: (1) terletak pada lereng agak curam (>30% – 45%), (2) telah tererosi berat, (3) kedalaman tanah sangat dangkal, (4) mengandung garam laut atau Natrium (berpengaruh hebat), (5) daerah perakaran sangat dangkal, atau (6) iklim yang tidak sesuai.

Tanah-tanah kelas VI yang terletak pada lereng agak curam jika digunakan untuk penggembalaan dan hutan produksi harus dikelola dengan baik untuk menghindari erosi. Beberapa tanah di dalam lahan kelas VI yang daerah perakarannya dalam, tetapi terletak pada lereng agak curam dapat digunakan untuk tanaman semusim dengan tindakan konservasi yang berat seperti, pembuatan teras bangku yang baik.

7. Kelas Kemampuan VII

Lahan kelas VII tidak sesuai untuk budidaya pertanian, Jika digunakan untuk padanag rumput atau hutan produksi harus dilakukan dengan usaha pencegahan erosi yang berat. Tanah-tanah dalam lahan kelas VII yang dalam dan tidak peka erosi jika digunakan untuk tanaman pertanian harus dibuat teras bangku yang ditunjang dengan cara-cara vegetatif untuk konserbvasi tanah , disamping yindkan pemupukan. Tanah-tanah kelas VII mempunuaio bebetapa hambatan atyai ancaman kerusakan yang berat da tidak dapatdihiangkan seperti (1) terletak pada lereng yang curam (>45 % – 65%), dan / atau (2) telah tererosi sangat berat berupa erosi parit yang sulit diperbaiki.

8. Kelas kemampuan VIII

Lahan kelas VIII tidak sesuai untuk budidaya pertanian, tetapi lebih sesuai untuk dibiarkan dalam keadaan alami. Lahan kelas VIII bermanfaat sebagai hutan lindung, tempat rekreasi atau cagar alam. Pembatas atau ancaman kerusakan pada lahan kelas VIII dapat berupa: (1) terletak pada lereng yuang sangat curam (>65%), atau (2) berbatu atau kerikil (lebih dari 90% volume tanah terdiri dari batu atau kerikil atau lebih dari 90% permukaan lahan tertutup batuan), dan (3) kapasitas menahan air sangat rendah. Contoh lahan kelas VIII adalah puncak gunung, tanah mati, batu terungkap, dan pantai pasir.

Kemampuan penggunaan lahan adalah suatu sistematika dari berbagai penggunaan lahan berdasarkan sifat-sifat yang menentukan potensi lahan untuk memproduksi secara lestari. Lahan diklasifikasikan atas dasar penghambat fisik. Sistem klasifikasi ini membagi lahan menurut faktorfaktor penghambat serta potensi bahaya lain yang dapat mengganggu pertumbuhan tanaman. Jadi, hasil klasifikasi ini dapat digunakan untuk menentukan arahan penggunaan lahan secara umum (misalnya untuk budidaya tanaman semusim, perkebunan,

hutan produksi dsb). Di areal HTI hasil klasifikasi ini terutama akan bermanfaat untuk alokasi areal sistem tumpangsari.

Klasifikasi Kemampuan Lahan menggunakan metoda yang dikembangkan oleh USDA dan telah diadaptasikan di Indonesia melalui Proyek Pemetaan Sumber Daya Lahan kerjasama antara Land Care Research New Zealand dengan Dept. Kehutanan tahun 1988-1990 di BTPDAS Surakarta (Fletcher dan Gibb, 1990).

Ada tiga kategori dalam klasifikasi Kemampuan Lahan, yaitu : Klas, Sub Klas dan Unit. Pengelompokan Klas didasarkan pada intensitas faktor penghambat, sedangkan Sub Klas menunjukkan jenis faktor penghambat. Tingkat terendah adalah Unit yang merupakan pengelompokan lahan yang mempunyai respon sama terhadap sistem pengelolaan tertentu.

Secara umum sistem ini menggunakan delapan Klas. Apabila makin besar faktor penghambatnya dan makin tinggi Klasnya maka akan semakin terbatas pula penggunaannya. Pembagian Klas-klas tersebut adalah sebagai berikut :

- Klas I – IV dapat digunakan untuk sawah, tegalan atau tumpangsari
- Klas V untuk tegalan atau tumpangsari dengan tindakan konservasi tanah
- Klas VI untuk hutan produksi
- Klas VII untuk hutan produksi terbatas
- Klas VIII untuk hutan lindung

Adapun penghambat yang digunakan adalah e (erosi), w (drainase), s (tanah), c (iklim) dan g (kelerengan). Pada klasifikasi ini dikenal prioritas penanganan penghambat berdasarkan tingkat kemudahan penanganannya. Pada kelas yang sama, bilamana mempunyai beberapa penghambat maka akan dipilih prioritas penghambat yang paling besar. Urutan prioritas penghambat tersebut adalah (dari yang paling mudah diatasi) e – w – s – c – g. Jadi apabila hasil klasifikasi dalam satu unit lahan menunjukkan Klas IVe, IVw dan IVs, maka akan ditetapkan sebagai Klas IVs karena mempunyai jenis penghambat yang paling sulit ditangani.

2.6. Pola Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah

Kegiatan konservasi tanah merupakan bagian dari program nasional yang lebih luas yaitu program penyelamatan hutan, tanah dan air yang mempunyai sasaran, antara lain yaitu memperbaiki fungsi hidrologi DAS, meningkatkan produktivitas sumberdaya alam, meningkatkan kesadaran masyarakat pemakai lahan terhadap prinsip-prinsip konservasi tanah dan air, serta meningkatkan kualitas lingkungan hidup. Program konservasi tanah tersebut dikenal sebagai program konservasi tanah pola RLKT (Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah) dan berisi aturan penggunaan lahan, arahan rehabilitasi lahan dan konservasi tanah dalam skala DAS serta penetapan prioritas penanganannya agar dapat kembali dan sesuai dengan fungsi masing-masing.

2.6.1. Arahan Penggunaan Lahan

Arahan penggunaan lahan ditetapkan berdasarkan kriteria dan tata cara penetapan hutan lindung dan hutan produksi yang berkaitan dengan karakteristik fisik DAS. Karakteristik fisik DAS, antara lain :

1. Kemiringan lereng
2. Jenis tanah menurut kepekaannya terhadap erosi
3. Curah hujan harian rata-rata

Kemiringan lereng dapat ditentukan dengan melihat garis-garis kontur pada peta topografi. Hasil interpretasi kemiringan lereng ini kemudian dipetakan menjadi peta kemiringan lereng. Jenis tanah diperoleh dari interpretasi peta tanah ditinjau dari DAS atau sub DAS yang menjadi kajian. Besarnya curah hujan ditentukan dari data hujan pada stasiun penakar hujan yang terdekat. Data lain yang dibutuhkan adalah sistem drainasi (pola aliran) dan tata guna lahan.

Untuk karakteristik DAS yang terdiri dari kemiringan lereng, jenis tanah, dan curah hujan harian rata-rata pada setiap satuan lahan perlu diklasifikasikan dan diberi bobot (skor) sebagai berikut (Asdak, 2002: 415):

Tabel 2.10 Kemiringan Lereng

Kelas	Kemiringan Lereng	Skor
1	0-8% (datar)	20
2	8-15% (landai)	40
3	15-25% (agak curam)	60
4	25-45% (curam)	80
5	≥ 45% (sangat curam)	100

Sumber : Asdak, 2002 : 415

Tabel 2.11 Jenis Tanah Menurut Kepekaannya Terhadap Erosi

Kelas	Jenis Tanah	Skor
1	Aluvial, Planosol, Hidromorf kelabu, Laterik (tidak peka)	15
2	Latosol (agak peka)	30
3	Tanah hutan coklat, tanah mediteran (kepekaan sedang)	45
4	Andosol Laterik, Grumosol, Podsol, Podsollic (peka)	60
5	Regosol, Litosol, Organosol, Renzina (sangat peka)	75

Sumber : Asdak, 2002 : 416

Tabel 2.12 Intensitas Hujan Harian Rata-rata

Kelas	Hujan harian rata-rata	Skor
1	$\leq 13,6$ mm/hari (sangat rendah)	10
2	13,6-20,7 mm/hari (rendah)	20
3	20,7-27,7 mm/hari (sedang)	30
4	27,7-34,8 mm/hari (tinggi)	40
5	$\geq 34,8$ mm/hari (sangat tinggi)	50

Sumber : Asdak, 2002 : 416

Penetapan penggunaan lahan setiap satuan lahan kedalam suatu kawasan fungsional dilakukan dengan menjumlahkan skor dari ketiga faktor tersebut diatas dengan mempertimbangkan keadaan setempat. Dengan demikian, dapat menentukan status kawasan yang tepat untuk suatu DAS atau sub DAS tersebut.

Menurut Balai Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah (BRLKT) Departemen Kehutanan, kriteria yang digunakan untuk menentukan status kawasan berdasarkan fungsinya, adalah sebagai berikut :

1. Kawasan Lindung

Satuan lahan dengan jumlah skor dari ketiga faktor fisik yang sama dengan atau lebih besar dari 175 dan memenuhi salah satu atau beberapa syarat di bawah ini :

- Mempunyai kemiringan lereng $> 45\%$
- Tanah dengan klasifikasi sangat peka terhadap erosi dan mempunyai kemiringan lereng $> 15\%$
- Merupakan jalur pengaman aliran sungai, sekurang-kurangnya 100 m di kiri-kanan alur sungai
- Merupakan pelindung mata air, yaitu 200 m dari pusat mata air
- Berada pada ketinggian ≥ 2000 m dpl
- Guna kepentingan khusus dan ditetapkan oleh pemerintah sebagai kawasan lindung

2. Kawasan Penyangga

Satuan lahan dengan jumlah skor dari ketiga faktor fisik antara 125-174 serta memenuhi kriteria umum sebagai berikut :

- Keadaan fisik areal memungkinkan untuk dilakukan budidaya pertanian secara ekonomis
- Lokasinya secara ekonomis mudah dikembangkan sebagai kawasan penyangga
- Tidak merugikan dari segi ekologi atau lingkungan hidup.

3. Kawasan Budidaya Tanaman Tahunan

Satuan lahan dengan jumlah skor dari ketiga faktor fisik ≤ 124 serta sesuai untuk dikembangkan usaha tani tanaman tahunan (tanaman perkebunan, tanaman industri). Selain itu areal tersebut harus memenuhi kriteria umum untuk kawasan penyangga.

4. Kawasan Budidaya Tanaman Semusim

Satuan lahan dengan kriteria seperti dalam penetapan kawasan budidaya tanaman tahunan serta terletak di tanah milik, tanah adat, dan tanah negara yang seharusnya dikembangkan sebagai usaha tani tanaman semusim.

Untuk menghasilkan arahan penggunaan lahan dan menduga potensi sumber daya lahan untuk berbagai kegunaannya, maka dilakukan pengukuran/penilaian terhadap kondisi lahan. Manfaat utama evaluasi sumber daya lahan adalah menilai kesesuaian lahan bagi suatu penggunaan tertentu, karena dengan evaluasi ini diketahui hubungan-hubungan antara kondisi lahan dengan perbandingan dan alternatif penggunaan yang diharapkan berhasil.

Dalam studi analisa ini nantinya dalam penentuan penggunaan lahan yang baru akan menggabungkan antara fungsi kawasan dengan kemampuan penggunaan lahannya serta juga meninjau RTRW lokasi daerah kajian. Tujuan dari pengkombinasian ini adalah agar didapatkan suatu arahan penggunaan lahan yang efektif, efisien, serta cukup optimal dalam pengendalian erosi dan banjir, sehingga dikemudian hari dapat mengurangi resiko yang diakibatkan bencana alam yang lebih besar.

Arahan kemampuan penggunaan lahan dalam studi ini secara umum didasarkan pada Kepres No. 32 tahun 1997 dan Direktorat Jenderal Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan (Departemen Kehutanan) yang meliputi:

(a) Hutan lindung, dengan kriteria:

- Kawasan hutan dengan faktor-faktor lereng lapangan, jenis tanah, curah hujan yang melebihi skor 175.
- Mempunyai lereng lapangan 40 % atau lebih.
- Mempunyai ketinggian di atas permukaan laut 2000 m atau lebih.

(b) Cagar alam, dengan kriteria:

- Kawasan yang ditunjuk mempunyai keanekaragaman jenis tumbuhan dan satwa serta tipe ekosistemnya.
- Mewakili formasi biota tertentu dan/atau unit-unit penyusun.
- Mempunyai kondisi alam, baik biota maupun fisiknya yang masih asli dan tidak atau belum diganggu manusia.
- Mempunyai luas dan bentuk tertentu agar mempunyai pengelolaan yang efektif dengan daerah penyangga yang cukup luas.
- Mempunyai ciri khas dan dapat merupakan satu-satunya contoh di suatu daerah serta keberadaannya memerlukan konservasi.

(c) Hutan wisata, dengan kriteria:

- Kawasan yang ditunjuk memiliki keadaan yang menarik dan indah baik secara alamiah maupun buatan manusia.
- Memenuhi kebutuhan manusia akan rekreasi dan olah raga.
- Mengandung satwa yang dapat dikembangkan sehingga memungkinkan perburuan secara teratur dengan mengutamakan segi rekreasi, olah raga dan kelestarian satwa.
- Mempunyai luas yang cukup dan lapangan yang tidak membahayakan.

(d) Hutan campuran (hutan rakyat), dengan kriteria:

- Lahan milik.
- Sangat diutamakan pada lahan dengan kemiringan $> 50\%$ atau lapisan tanahnya dangkal dan berbatu sehingga tidak menguntungkan untuk usaha tani tanaman semusim.
- Lahan yang ditelantarkan.
- Daerah perlindungan air dan jurang.
- Dapat menghasilkan berbagai macam produksi baik berupa kayu, hijauan pakan ternak, dan sebagainya.

2.6.2. Usaha Konservasi

Konservasi tanah adalah usaha yang dilakukan untuk meningkatkan produktivitas tanah. Pada umumnya konservasi tanah dimaksudkan untuk (Hardjowigeno, 1995: 163):

- a. Melindungi tanah dari curahan langsung air hujan.
- b. Meningkatkan kapasitas infiltrasi tanah.
- c. Mengurangi limpasan permukaan.

d. Meningkatkan stabilitas agregat tanah.

Secara garis besar pengendalian erosi dapat dilakukan dengan tiga metode, yaitu: (a) metode vegetatif, (b) metode mekanis, dan (c) metode kimiawi. Dua metode yang pertama banyak digunakan dalam konservasi air dan lahan, sedangkan metode kimiawi belum banyak diterapkan mengingat adanya kendala teknologi dan biaya, sehingga dalam studi analisa ini yang digunakan hanya metode vegetatif dan metode mekanik saja.

2.6.2.1. Metode Vegetatif

Metode vegetatif mempunyai fungsi ganda dalam usaha konservasi tanah yaitu untuk meningkatkan ketahanan tanah juga untuk mengurangi energi yang dapat menyebabkan erosi. Metode vegetatif dalam pelaksanaannya meliputi kegiatan-kegiatan sebagai berikut:

a. Reboisasi dan Penghijauan

Reboisasi adalah penghutanan kembali tanah-tanah hutan yang gundul dengan ditanami tanaman-tanaman keras. Untuk kepentingan reboisasi, pemerintah telah menyediakan bibit tanaman pohon pinus, jati, mahoni, dan kayu putih. Sedangkan penghijauan adalah penanaman tanah-tanah rakyat dan tanah-tanah lainnya seperti tanah desa, tanah negara, tanah bekas perkebunan baik di dataran tinggi maupun daerah aliran sungai yang kesemuanya berada di luar kawasan hutan, dengan pohon-pohon terpilih atau rumput-rumputan dengan tujuan untuk pengawetan tanah. Tanaman yang dipergunakan untuk penghijauan biasanya berupa turi, cengkeh, jambu mente, kayu manis, petai, nangka, durian, dan karet.

b. Penanaman Tanaman Penutup Tanah (*vegetative cover*)

Dilakukan dengan menanam tanaman yang mempunyai sifat tumbuh rendah dan melebar dengan naungan daun yang cukup luas. Tujuan dari penanaman tanaman penutup tanah ini adalah untuk mebatasi evaporasi dan melindungi permukaan tanah dari terpaan butir hujan. Pada lahan berlereng, tanaman penutup tanah dapat berfungsi mengurangi laju aliran permukaan serta mencegah erosi dan kehilangan tanah. Sistem akar tanaman menciptakan rongga-rongga dalam tanah yang akan meningkatkan peresapan dan penyimpanan air yang berdampak pada pengurangan aliran permukaan.

c. Penanaman Tanaman Menurut Garis Kontur (*contour cultivation*)

Penanaman secara kontur adalah penanaman tanaman yang searah atau sejajar dengan garis kontur atau menyilah lereng tanah. Metode ini sangat diperlukan dan harus diperhatikan kalau keadaan tanahnya mempunyai kemiringan. Semua tindakan pengolahan tanah juga harus searah kontur. Metode ini sangat sesuai bagi tanah-tanah yang memiliki kemiringan 3-8 % tetapi kurang efektif bagi tanah dengan kemiringan

kurang dari 3 % dan lebih dari 8 % sampai 25 % (Kartasapoetra, 2000: 149). Tujuan dari *contour cultivation* ini adalah untuk mengurangi laju aliran permukaan sehingga mampu mencegah erosi dan kehilangan tanah lapisan atas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bertanam menurut kontur dapat mengurangi aliran permukaan sebesar 29 % dan kehilangan tanah sebesar 6 %.

d. Penanaman Tanaman Dalam Larikan (*Strip Cropping*)

Dilakukan dengan menanam jenis tanaman yang berbeda pada lajur yang berlainan. Satu jenis tanaman adalah yang menghasilkan komoditas lebih bernilai ekonomi seperti tanaman pangan dan hortikultura sedang jenis lainnya adalah tanaman pakan yang lebih berfungsi konservasi seperti rumput-rumputan. Pada lahan berlereng, lajur tanaman dibuat mengikuti kontur (*conour strip*) sehingga menambah dampak positif pada upaya konservasi air dan lahan. Bagian lahan dengan topografi yang rumit, bagian yang sulit tidak dibudidayakan tetapi disisihkan sebagai area penyangga (*buffer strip*). Lebar dari lajur tanaman produksi dan tanaman konservasi disesuaikan dengan jenis tanah, lereng dan tingkat bahaya erosi.

e. Pergiliran Tanaman (*crop rotation*)

Pergiliran tanaman adalah suatu sistem bercocok tanam pada sebidang tanah, terdiri dari beberapa macam tanaman yang ditanam secara berturut-turut pada waktu tertentu kemudian setelah masa panen tiba, kembali lagi pada tanaman semula. Manfaat dari metode ini antara lain mengurangi erosi, meningkatkan produksi pertanian, memperkecil resiko gagal panen, memperbaiki kesuburan tanah, mengurangi biaya pengelolaan tanah, memelihara keseimbangan biologis, memberantas hama/penyakit tanaman atau menekan pertumbuhan tanaman pengganggu.

f. Tumpang Gilir (*relay cropping*)

Tumpang gilir adalah sistem bercocok tanam dengan menggunakan dua atau lebih jenis tanaman di sebidang tanah, dimana tanaman kedua ditanam setelah tanaman pertama berbunga. Selain untuk mencegah erosi, tumpang gilir juga bermanfaat untuk mempertinggi intensitas penggunaan tanah.

g. Pemulsaan (*mulching*)

Dilakukan dengan pemberian sisa tanaman atau seresah diatas permukaan tanah dari terpaan butir-butir hujan. Pemberian mulsa lazim dilakukan untuk tanaman yang ditanam secara individual, tetapi dapat juga diterapkan pada tanaman musiman dalam baris.

2.6.2.2. Metode Mekanik

Usaha konservasi dengan metode mekanik bertujuan untuk memperkecil laju limpasan permukaan, sehingga daya rusaknya berkurang dan untuk menampung limpasan permukaan kemudian mengalirkannya melalui bangunan atau saluran yang telah dipersiapkan. Beberapa metode yang digunakan antara lain (Utomo, 1994: 85):

a. Pembuatan Saluran Pemisah

Saluran pemisah umumnya dibangun sebagai batas pemisah dengan lahan milik orang lain. Saluran ini berfungsi agar air limpasan permukaan dari lahan lain tidak masuk ke daerah proyek, yang jika dibiarkan dapat merusak bangunan yang telah dibuat. Limpasan yang masuk ke dalam saluran pemisah kemudian dialirkan melalui jalan air.

b. Saluran Pembuang Air (SPA)

Saluran pembuang air adalah saluran pembuang untuk menampung dan mengalirkan limpasan permukaan. Saluran ini dibangun searah lereng. Agar dasar saluran tidak terkikis, maka dasar saluran dilengkapi dengan pemasangan batu-batuan atau dengan vegetatif *lining*.

c. Pembuatan Teras

Pembuatan teras dimaksudkan untuk mengurangi panjang dan kemiringan lereng sehingga dapat memperkecil limpasan permukaan. Berdasarkan bentuk dan fungsinya ada beberapa macam teras, yaitu (Utomo, 1989: 81):

(1) Teras Saluran (*channel terrace*)

Teras saluran dibangun untuk mengumpulkan air aliran permukaan pada saluran yang telah dipersiapkan, kemudian dialirkan ke jalan air. Teras ini dibuat searah lereng dengan membuat tanggul dengan saluran di atasnya. Tanah untuk tanggul diambil dari sisi atas atau dari kedua sisi tanggul. Ada tiga macam teras saluran:

- Teras datar: digunakan untuk tanah dengan kemiringan kurang dari 3 % dan untuk tanah yang mempunyai permeabilitas tinggi dan jenis tanah kering.
- Teras kredit: digunakan untuk tanah dengan kemiringan 3-10 % dengan jarak antar guludan bervariasi 5-12 m.
- Teras gulud: digunakan untuk tanah dengan kemiringan antara 10-40 %.

(2) Teras Bangku atau Tangga (*bench terrace*)

Teras bangku dimaksudkan untuk mengurangi panjang lereng, dengan jalan memotong lereng dan meratakan tanah di bawahnya, sehingga terbentuk deretan bangku atau tangga. Teras bangku dibangun pada tanah dengan kemiringan antara

20-30 % dan mempunyai solum tanah yang cukup dalam. Ada berbagai macam teras bangku yang dapat ditemukan di lapangan, yaitu:

- Teras bangku datar (*level terrace*)
- Teras bangku miring (*slope terrace*)
- Teras bangku berlawanan lereng (*steep terrace*)

(3) Teras Irigasi atau Pengairan (*irrigation terrace*)

Seringkali pada ujung teras dibuat tanggul dengan tujuan agar air dapat disimpan pada teras tersebut. Teras semacam ini disebut teras irigasi atau teras pengairan.

d. Bangunan Terjunan (*drop structure*)

Fungsi bangunan terjunan adalah untuk menghindari kerusakan dasar jalan air karena adanya lereng yang curam. Jika dibiarkan secara alami lerengnya sangat curam, karena itu panjang lereng perlu dipotong. Pada perpotongan lereng ini perlu dibuat bangunan penguat sehingga air yang mengalir deras (terjun) tidak merusak dasar saluran. Biasanya dinding bangunan dibuat dari bambu dan dasar saluran diperkuat oleh batu.

e. Bangunan *check dam*

Dapat dibangun dari bambu atau kayu tetapi dapat juga dari batu dan beton. Tujuan pembangunan *check dam* adalah untuk pengendalian erosi jurang sehingga erosi jurang tidak berkembang lebih lanjut dan menjadi semakin dalam dan besar.. Terdapat dua jenis *check dam* yaitu: jenis kedap air dan jenis lolos air dimana sedimen tertahan tetapi aliran air tidak terhambat.

f. Rorak (*sill pilt*)

Tujuan utamanya dibangunnya rorak adalah untuk menangkap air limpasan permukaan dan juga tanah yang tererosi, sehingga diharapkan air dapat masuk ke dalam tanah dapat mengendalikan erosi. Rorak dibuat dengan menggali lubang berukuran dalam 60 cm, lebar 50 cm dan panjang 400-500 cm yang dibuat memanjang searah garis kontur, jarak horisontal antar rorak 10-15 m dan jarak antara rorak berkisar antara 20 m (lereng landai) sampai 10 m (lereng curam). Rorak banyak digunakan di perekebunan.

2.7. Sistem Informasi Geografis

2.7.1. Definisi Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah suatu sistem yang berbasis komputer yang digunakan untuk menyimpan dan memanipulasi informasi-informasi geografi. SIG dirancang untuk mengumpulkan, menyimpan dan menganalisa obyek-obyek dan fenomena di dunia nyata dimana lokasi geografi merupakan karakteristik yang penting atau kritis untuk dianalisis. Dengan demikian SIG memiliki empat kemampuan dalam menangani

data geografi yaitu: (a) masukan, (b) manajemen data/penyimpanan dan pemanggilan data, (c) analisis dan manipulasi data, (d) keluaran (Prahasta, 2002: 55). Di dalam SIG data tersimpan dalam format digital, jumlah data yang besar dapat tersimpan dan diambil kembali secara cepat dan efisien. Keunggulan SIG lainnya adalah kemampuan memanipulasi data dan analisis data spasial dengan mengaitkan data atau informasi atribut untuk menyatukan tipe data yang berbeda kedalam suatu analisis tunggal.

2.7.2. Model Data SIG

Pembawa informasi di dalam model-model data adalah obyek. Obyek ini berhubungan dengan *entities* di dalam model-model dunia nyata, karena itu dianggap sebagai deskripsi fenomena dunia nyata (Prahasta, 2001 : 104). Suatu objek memiliki *properties*, yaitu (Prahasta, 2001 : 104) : tipe, atribut, relasi, geometri, dan kualitas.

Secara umum, terdapat dua jenis data yang dapat digunakan untuk mempresentasikan atau memodelkan fenomena-fenomena yang terdapat di dunia nyata, yaitu :

1. Data spasial
2. Data atribut

2.7.2.1. Data Spasial

Data spasial adalah jenis data yang mempresentasikan aspek-aspek keruangan dari fenomena yang bersangkutan. Jenis data ini sering disebut data posisi, koordinat, ruang, atau data spasial. Data spasial dari segi penyimpanan data dibagi menjadi dua yaitu data vektor dan data *raster*. Kedua sistem tersebut merupakan fungsi posisi yang menunjukkan salah satu karakteristik dari data geografi. Setiap sistem mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing.

(1). Data Vektor

Pada sistem vektor, fenomena geografi disajikan tiga konsep topologi, yaitu titik (*point*), garis (*line*), dan poligon (*polygon*). Fenomena geografi tersebut disimpan dalam bentuk pasangan koordinat (x,y) sehingga letak, titik, garis, dan area dihubungkan dengan data atribut menggunakan pengenal (*identity/user_id*) terlebih dahulu. Resolusi dari data vektor tergantung dari jumlah titik yang membentuk garis.

(2). Data *raster*

Pada sistem *raster*, fenomena geografi disimpan dalam bentuk rangkaian bujursangkar atau piksel (*grid/raster*) yang sesuai dengan kenampakan. Setiap piksel mempunyai referensi pada kolom baris yang berisi satu nilai yang mewakili satu fenomena geografi. Pada sistem ini titik dinyatakan dalam bentuk *grid* atau sel tunggal, garis dinyatakan dengan beberapa sel yang mempunyai arah, dan poligon dinyatakan dalam

beberapa sel. Resolusi dari data *raster* ditentukan oleh ukuran *grid sell*. Model *raster* memberikan informasi spasial apa yang terjadi dimana saja dalam bentuk gambaran yang digeneralisir. Dengan model ini, dunia nyata disajikan sebagai elemen matriks atau sel-sel *grid* yang homogen. Dengan model data *raster*, data geografi ditandai oleh nilai-nilai (bilangan) elemen matriks persegi panjang dari suatu obyek. Dengan demikian, secara konseptual, model data *raster* merupakan model data spasial yang paling sederhana.

Data spasial diperoleh dari *hard copy*, foto udara citra satelit, peta *digital*, dan lainnya. Data spasial disini adalah data berupa gambar yang berhubungan dengan lokasi atau posisi, bentuk, dan hubungan antar unsurnya. Pemasukan data spasial vektor dilakukan dengan pendigitasian, sedangkan data spasial *raster* dilakukan dengan *scanning* dengan alat *scanner*. Bentuk data spasial :

- a. Titik, dengan format :sepanjang koordinat (x,y) yang tidak mempunyai dimensi panjang dan luas.
- b. Garis, dengan format :kumpulan pasangan koordinat yang mempunyai titik awal dan titik akhir serta mempunyai dimensi panjang tetapi tidak mempunyai dimensi luas.
- c. Poligon/Area, dengan format :kumpulan pasangan-pasangan koordinat yang mempunyai titik awal dan titik akhir, dimana titik awal dan titik akhir berhimpit atau sama serta mempunyai dimensi panjang dan luas.

2.7.2.2. Data Atribut

Data atribut adalah jenis data yang mempresentasikan aspek-aspek deskriptif dari fenomena yang bersangkutan hingga dimensi waktunya. Jenis data ini sering disebut data atribut atau non-spasial. Data atribut merupakan keterangan dari data geografi baik disimpan secara vektor (*vector encoding*) maupun *raster* (*raster encoding*). Deskripsi data-data atribut tersebut berupa keterangan-keterangan pada bagian-bagian fenomena geografi dengan cara pemberian kode (Prahasta, 2001 : 140).

Data atribut pada pekerjaan Sistem Informasi Geografis merupakan suatu *database*. *Database* merupakan data yang disusun atau diatur sedemikian rupa sehingga mempermudah kita dalam memperoleh suatu informasi. *Database* terdiri dari *record*, *field*, dan data *item*. Dimana setiap *field* harus terdiri dari beberapa *record* yang masing-masing berisi data *item*.

Sebelum dilakukan pemasukan data atribut, terlebih dahulu harus dilakukan pemilihan dan pengelompokan data berdasarkan kesamaan (kesetaraan) supaya dapat dijadikan suatu format data. Setelah data-data tersebut dikelompokkan berdasarkan kesamaan, maka data tersebut dimasukkan sebagai data *item* dan dikelompokkan lagi berdasarkan *field-fieldnya*, sehingga terbentuk beberapa *record* data. *Record-record* data inilah yang akan diolah menjadi Sistem Informasi Geografis. Data atribut terdiri dari :

- a. Formulir dan daftar, dengan format : kode alfabetik, kode alfa numerik dan angka
- b. Laporan lengkap, dengan format : kata kalimat dan keterangan lain
- c. Keterangan gambar (grafik/*chart*), dengan format : kata, angka, keterangan penunjuk liputan area, keterangan symbol.

2.7.3. Komponen SIG

Komponen-komponen utama yang harus diperhatikan dalam pengembangan Sistem Informasi Geografis, antara lain :

1. Data

Data merupakan salah satu unsur yang tidak mungkin dipisahkan dari Sistem Informasi Geografis. Data tersebut dapat berupa foto udara, penginderaan jarak jauh dan *image processing*, peta *digital*, survey lapangan, dan data tabular.

2. Perangkat keras (*Hardware*)

Komputer sebagai alat input, proses pengolahan dan output. Perangkat ini menyangkut seluruh perangkat fisik yang terdapat dalam sistem komputer. Perangkat-perangkat tersebut antara lain terdiri dari :

- a. Peralatan data masukan
- b. Peralatan data keluaran
- c. Peralatan penyimpanan
- d. *Processor*

3. Perangkat lunak (*Software*)

Software SIG didesain untuk melakukan analisa geografi. Sebagian besar *software* tersebut dapat digunakan untuk memanipulasi spasial atau tabular data. *Software* juga merupakan kumpulan dari salah satu paket program yang berfungsi untuk mengoptimalkan kerja suatu sistem komputer.

4. Manusia/Pelaksana

Manusia sebagai pengoperasi atau pengatur jalannya sistem yang ada pada program Sistem Informasi Geografis.

5. Tata Cara/Prosedur

Prosedur meliputi masukan, pengadaan data, pemeliharaan, hubungan dengan instansi terkait, standarisasi program aplikasi serta kemudahan memakai dan mengembangkan. Suatu proyek SIG akan berhasil jika di-*manage* dengan baik dan dikerjakan oleh orang-orang memiliki keahlian yang tepat pada semua tingkatan.

2.7.4. Subsystem Dalam SIG

Menurut Prahasta, SIG dapat diuraikan menjadi beberapa subsystem, antara lain:

1. Data *Input*

Merupakan subsystem yang bertugas untuk mengumpulkan dan mempersiapkan data spasial dan atribut dari berbagai sumber. Subsystem ini pula yang bertanggung jawab dalam mengkonversi atau mentransformasikan format-format data aslinya ke dalam format yang dapat digunakan oleh SIG.

2. Data *Output*

Merupakan subsystem yang menampilkan atau menghasilkan keluaran seluruh atau sebagian basisdata baik dalam bentuk *softcopy* maupun dalam bentuk *hardcopy* seperti: tabel, grafik, peta, dan lain-lain.

3. Data *Management*

Merupakan subsystem yang bertugas mengorganisasikan dengan baik data spasial maupun data atribut kedalam sebuah basisdata sedemikian rupa sehingga mudah dipanggil, di-*update*, dan di-*edit*.

4. Data *Manipulation* dan *Analysis*

Merupakan subsystem yang menentukan informasi-informasi yang dapat dihasilkan oleh SIG. Selain itu, subsystem ini juga melakukan manipulasi pemodelan data untuk menghasilkan informasi yang diharapkan.

Fungsi analisis spasial dari SIG terdiri dari:

(a) Klasifikasi (*reclassify*): fungsi ini mengklasifikasikan atau mengklasifikasi kembali suatu data spasial/atribut menjadi data spasial yang baru dengan menggunakan kriteria tertentu. Misalnya dengan menggunakan data spasial ketinggian dari permukaan bumi (topografi) dapat diturunkan data spasial kemiringan. Nilai-nilai prosentase kemiringan ini dapat diturunkan lagi menjadi data spasial baru yang dapat digunakan untuk merancang perencanaan suatu pengembangan wilayah.

(b) Jaringan (*network*): fungsi ini merujuk pada data-data spasial yang berupa titik-titik atau garis-garis sebagai suatu jaringan yang tidak terpisahkan. Fungsi ini sering digunakan dalam bidang transportasi dan *utility*, misalnya aplikasi jaringan kabel,

jaringan listrik, komunikasi telepon, pipa air, saluran pembuangan, jaringan drainase perkotaan.

(c) *Tumpang susun (overlay)*: fungsi ini menghasilkan data spasial baru dari minimal dua data spasial yang menjadi masukannya. *Overlay* suatu data grafis adalah untuk menggabungkan antara dua atau lebih data grafis untuk dapat diperoleh data grafis yang baru yang memiliki satuan pemetaan gabungan dari beberapa data grafis tersebut. Untuk dapat melakukan *overlay*, maka antara dua data grafis tersebut harus mempunyai sistem koordinat sama. Terdapat beberapa cara melakukan tumpang susun data grafis yang dapat dilakukan pada perangkat *Arc Info* dan *Arc View* yaitu:

- *Identity*: *overlay* antara dua data grafis dengan menggunakan data grafis pertama sebagai acuan batas luarnya. Jadi apabila batas luar antara dua data grafis yang akan *dioverlay* tidak sama, maka batas luar yang akan digunakan adalah batas luar data grafis pertama.
- *Union*: *overlay* yang berupa penggabungan antara dua data grafis. Jadi apabila batas luar antara dua data grafis yang akan *dioverlay* tidak sama maka batas luar yang baru adalah gabungan antara batas luar data grafis yang pertama dan atau gabungan batas-batas paling luar.
- *Intersection*: *overlay* antara dua data grafis tetapi apabila batas luar dari dua data grafis tersebut tidak sama, maka yang *dioverlay* hanya pada daerah yang bertampalan.
- *Update*: merupakan salah satu fasilitas untuk mengoverlay dua data grafis dengan menghapus informasi grafis pada *coverage input* dan diganti dengan informasi dari informasi *coverage update*.

(d) *Buffering*: fungsi ini akan menghasilkan data spasial baru yang berbentuk poligon atau zone dengan jarak tertentu dari data spasial yang menjadi masukannya. Data spasial titik akan menghasilkan data spasial baru yang berupa lingkaran-lingkaran yang mengelilingi titik-titik pusatnya. Untuk data spasial garis maka akan menghasilkan lingkaran-lingkaran yang melingkupi garis-garis. Demikian untuk data spasial poligon.

(e) *3D Analysis*: fungsi ini terdiri dari sub-sub fungsi yang berhubungan dengan presentasi data spasial dalam ruang 3 dimensi. Fungsi analisis spasial ini banyak

menggunakan fungsi interpolasi sebagai contoh untuk menampilkan data spasial ketinggian, tata guna tanah, jaringan jalan, dan *utility* dalam bentuk 3 dimensi.

- (f) *Digital Image Processing*: fungsi ini dimiliki oleh SIG berbasis raster, karena data spasial permukaan bumi citra *digital* banyak didapat dari perekaman data satelit yang berformat raster. Perangkat SIG yang dilengkapi dengan fungsi ini memiliki banyak sub fungsi analisa citra *digital*. Misalnya fungsi untuk koreksi *radiometrik*, *filtering*, *clustering*, dan sebagainya.

2.7.5. *Digital Terrain Model (DTM)*

Digital Terrain Model/DTM (Model Permukaan Dijital) atau sering juga disebut *Digital Elevation Model/DEM* adalah salah satu metode pendekatan yang bisa dipakai untuk melakukan pengamatan fenomena alam di permukaan bumi melalui pemodelan spasial (pemodelan relief bumi dalam bentuk tiga dimensi). Metode DEM tersebut dapat dipakai sebagai model, analisa, dan representasi fenomena yang berhubungan dengan topografi atau permukaan lain.

Penggunaan DEM dalam proses analisa limpasan permukaan merupakan langkah yang tepat dalam merepresentasikan permukaan relief bumi yang akan membantu ketelitian dalam mengidentifikasi kemiringan lahan, arah aliran, akumulasi aliran, panjang lintasan aliran, dan penentuan daerah pengaliran (penentuan Sub DAS).

Terdapat beberapa metode untuk memodelkan bentuk permukaan bumi dengan menggunakan DEM, diantaranya yaitu model *grid* dalam bentuk bujur sangkar, model TIN (*Triangulated Irregular Network*) dalam bentuk segitiga tidak beraturan, dan yang terakhir adalah *Cellular Automata (CA)* yaitu dalam bentuk segitiga, segiempat, dan segienam beraturan. Dari beberapa metode yang ada dalam penggambaran relief bumi, yang paling banyak digunakan adalah bentuk bujur sangkar. Hal ini disebabkan faktor kemudahan dalam perhitungan dan visualisasinya apabila dibandingkan dengan model lainnya (Laurini 1992, dalam Sutan Haji 2001).

Dari berbagai metode tersebut yang paling sering digunakan adalah DEM dengan model data *raster/grid*, karena dianggap mudah dalam penggunaannya. Model data *grid* memiliki sel-sel yang bentuknya beraturan dan luasnya sama, sehingga memudahkan dalam penerapan rumus atau perhitungan serta analisa lebih lanjut. Untuk mendapatkan model DAS atau Sub DAS dari suatu DEM, maka terlebih dahulu ditentukan arah aliran dan akumulasi aliran pada sel-sel DEM tersebut.

Penentuan arah aliran (flow direction)

Topografi berperan penting dalam respon hidrologi suatu DAS, agar mencapai suatu prediksi hidrologi yang signifikan dalam suatu skala DAS, variabilitas (ketidaktetapan) keruangan dari proses-proses hidrologi harus dihitung (Moore et all., 1993 dalam Sutan Haji, 2001). Untuk itu penggunaan model permukaan digital akan sangat membantu dalam proses analisa respon hidrologi dari suatu DAS dalam skala model digital. Pembagian luasan dalam suatu DAS dalam bentuk sel-sel *grid* dengan ukuran tertentu merupakan suatu cara pendekatan untuk menentukan arah aliran permukaan dari limpasan yang berdasarkan ketinggian antar titik-titik elevasi masing-masing *grid*.

Untuk menentukan arah aliran suatu sel dari DEM ditentukan dengan membandingkan elevasi sel tersebut dengan 8 (delapan) elevasi di sekitar sel tersebut yang bersebelahan. Maka aliran dari sel tersebut akan mengalir ke arah sel yang memiliki kemiringan relatif paling curam terhadap sel yang akan ditentukan arah alirannya. Dalam SIG arah aliran yang akan dilewati oleh suatu sel dikodekan dengan angka-angka. Delapan arah aliran ini mewakili delapan arah mata angin, yaitu Timur (E)= 1, Tenggara (SE)= 2, Selatan (S)= 4, Barat Daya (SW)= 8, Barat (W)= 16, Barat Laut (NW)= 32, Utara (N)= 64, dan Timur Laut (NE)= 128. Sebagai contoh, jika arah aliran dari satu sel setelah kemiringan relatif dari delapan sel sebelahny dibandingkan adalah ke arah kiri (barat), maka arah aliran dari sel tersebut dikodekan dengan angka

Akumulasi aliran (flow accumulation)

Parameter selanjutnya yang penting untuk pemodelan aliran adalah akumulasi aliran dimana besarnya akumulasi aliran sama dengan penjumlahan besarnya aliran pada tiap-tiap sel yang kemudian akan menuju kepada sel yang teridentifikasi mempunyai nilai elevasi paling rendah dalam suatu hamparan permukaan *grid*. Secara skematik, proses-proses perhitungan parametik topografik ditunjukkan dalam gambar di bawah ini:

Akumulasi aliran didefinisikan sebagai banyaknya sel yang memberikan kontribusi aliran pada suatu sel berdasarkan *grid* arah aliran yang telah ditentukan sebelumnya. Penjumlahan akumulasi aliran ini dimulai dari daerah hulu, lalu menelusuri tiap sel satu persatu ke arah hilir berdasarkan *grid* arah aliran. Sel dengan akumulasi aliran nol (tidak ada sel lain yang memberikan kontribusi aliran) merupakan daerah yang topografinya tinggi. Biasanya berupa punggung-punggung bukit yang selanjutnya didefinisikan sebagai batas DAS atau Sub DAS. Sedangkan sel-sel dengan jumlah akumulasi aliran tinggi, biasanya mengidentifikasikan saluran sungai.

Penentuan jaringan sungai sintetik

Jaringan sungai sintetik diperoleh dengan menentukan batas minimum jumlah kontribusi aliran yang diterima oleh suatu sel yang bisa dianggap sebagai awal dari saluran sungai. Selanjutnya jaringan sungai sintetik ini ditentukan dengan mengikuti *grid* arah aliran menuju sel yang memiliki akumulasi aliran yang paling tinggi. Penentuan batas minimum akumulasi aliran akan mempengaruhi jaringan sungai sintetik yang dihasilkan, jika batas minimumnya kecil maka akan terdapat banyak sungai-sungai kecil. Sebaliknya jika batas minimumnya besar maka sungai-sungai kecil akan tereliminasi dan menjadi satu dengan sungai yang lebih besar daerah tangkapannya.

Penentuan daerah tangkapan air

Daerah aliran sungai merupakan daerah yang apabila terjadi hujan, akan memberikan kontribusi aliran pada titik *outlet* yang sama. Pada suatu DEM daerah aliran sungai atau daerah tangkapan air (*catchment area*) menentukan sel-sel mana saja yang memberikan kontribusi aliran pada suatu sel *outlet* yang ditentukan sebelumnya berdasarkan *grid* arah aliran. Sel-sel ini akan diidentifikasi dengan *value* yang sama, kemudian dipisah dan dikonvert dalam data vektor sebagai poligon luasan. Sel *outlet* ditentukan tergantung daerah mana yang menjadi obyek studi atau juga dengan menambahkan *outlet* pada anak sungai berdasarkan jaringan sungai yang selanjutnya akan menjadi Sub DAS dari DAS utama.

2.7.5.1. Program AVSWAT 2000

Dalam penentuan daerah tangkapan air (DTA) menggunakan bantuan program AVSWAT 2000 (*Arc View Soil and Water Assessment Tool*) yang merupakan program tambahan atau *extension* dalam *Arc View* yang mampu memprediksi batasan daerah tangkapan air dalam skala kecil, dampak penggunaan lahan, dan pengelolaan lahan pada suatu sistem DAS terhadap limpasan permukaan dan sedimentasi pada suatu DAS. Pada analisa penentuan DTA dengan AVSWAT ini akan didapatkan suatu informasi-informasi geografis secara jelas tentang luasan, elevasi, kemiringan (*slope*), panjang, dan lain-lain, yang merupakan data atribut dari peta yang bersangkutan.