

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

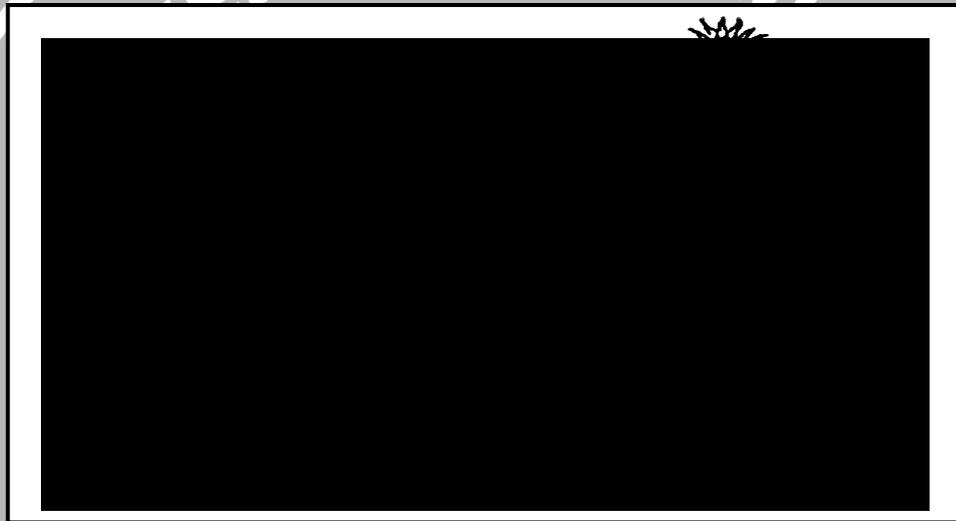
2.1 Hidrologi dan Pengelolaan DAS

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, 2004 : 4).

2.1.1 Daur Hidrologi

Daur atau siklus hidrologi yaitu perjalanan air dari permukaan laut ke atmosfer kemudian ke permukaan tanah dan kembali lagi ke laut yang tidak pernah berhenti tersebut, air tersebut akan tertahan (sementara) di sungai, danau/waduk, dan dalam tanah sehingga dapat dimanfaatkan oleh manusia atau makhluk hidup lainnya (Asdak, 2004 : 7).

Untuk mengetahui lebih jelas tentang daur hidrologi secara alamiah ditunjukkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Daur Hidrologi

Sumber : Asdak, 2004 : 9

2.1.2 Pengelolaan DAS

DAS adalah suatu wilayah daratan yang secara topografik dibatasi oleh punggung-punggung gunung yang menampung dan meyimpan air hujan untuk kemudian menyalurkannya ke laut melalui sungai utama (Asdak, 2004 : 4). Pengelolaan DAS adalah suatu proses formulasi dan implementasi kegiatan atau program yang bersifat manipulasi sumber daya alam dan manusia yang terdapat di daerah aliran sungai untuk memperoleh manfaat produksi dan jasa tanpa menyebabkan terjadinya kerusakan sumber daya air dan tanah. Termasuk dalam pengelolaan DAS adalah identifikasi keterkaitan antara tata guna

lahan, tanah dan air, dan keterkaitan antara daerah hulu dan hilir suatu DAS (Asdak, 2004:5). Pengelolaan DAS bertumpu pada aktivitas yang berdimensi biofisik seperti pengendalian erosi, penghutanan kembali lahan-lahan kritis, serta berdimensi regulasi atau kelembagaan seperti peraturan-peraturan yang berkaitan dengan bidang ekonomi.

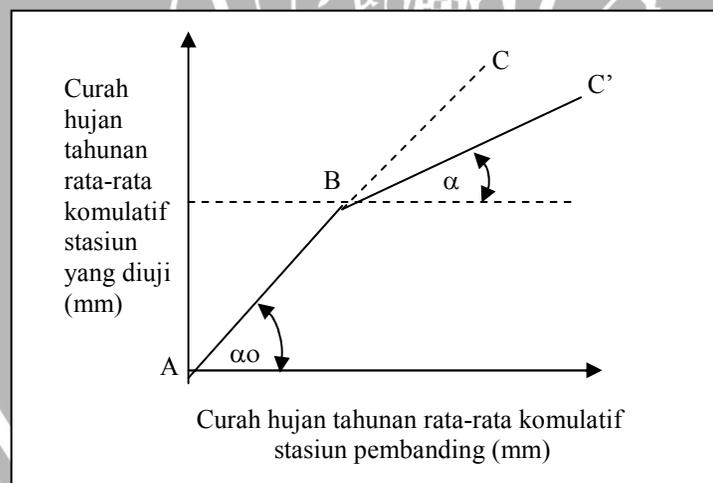
Untuk tercapainya pembangunan DAS yang berkelanjutan, diperlukan penyatuan kegiatan pembangunan ekonomi dan perlindungan lingkungan secara realistis melalui penyesuaian kegiatan pengelolaan DAS dan konservasi daerah hulu ke dalam kenyataan ekonomi dan sosial (Asdak, 2004 : 538).

2.2 Analisa Hidrologi

Dalam proses hidrologi, hujan merupakan komponen masukan penting yang akan digunakan sebagai pendekatan dalam mengestimasi besar debit banjir yang terjadi pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS).

2.2.1 Uji Konsistensi Data

Uji konsistensi berarti menguji kebenaran data lapangan yang tidak dipengaruhi oleh kesalahan pada saat pengiriman atau saat pengukuran, data tersebut harus benar-benar menggambarkan fenomena hidrologi seperti keadaan sebenarnya dilapangan (harus konsisten) (Soewarno, 1995 : 23). Kurva massa ganda adalah salah satu metode grafis untuk alat identifikasi atau untuk menguji konsistensi dan kesamaan jenis data hidrologi dari suatu pos hidrologi (Soewarno, 1995 : 28). Dengan cara membandingkan curah hujan kumulatif tahunan dari stasiun yang diuji dengan kumulatif curah hujan tahunan rerata beberapa stasiun pada waktu yang bersesuaian, kemudian diplotkan pada kurva.



Gambar 2.2 Lengkung Massa Ganda

Sumber : Soemarto, 1987 : 39

Bila tidak ada perubahan terhadap lingkungan maka akan diperoleh garis ABC. Tetapi karena pada tahun tertentu terjadi perubahan lingkungan maka didapat garis patah ABC'. Apabila terjadi penyimpangan (ABC') maka dikoreksi dengan rumus:

$$BC = (\operatorname{tg} \alpha_0 / \operatorname{tg} \alpha) \times BC' \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

dengan: BC = data hujan hasil perbaikan (mm)
 BC' = data hujan hasil pengamatan (mm)
 Tg α_0 = kemiringan sebelum ada perubahan
 Tg α = kemiringan sesudah ada perubahan

2.2.2 Curah Hujan Rerata Daerah

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan. 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 menentukan tinggi curah hujan rerata pada daerah tertentu di beberapa titik pos penakar atau pencatat hujan, yaitu :

1. Metode rata-rata aljabar

Tinggi rata-rata curah hujan didapatkan dengan mengambil nilai rata-rata hitung (*arithmetic mean*) pengukuran hujan di pos penakar-penakar hujan di daerah tersebut. Curah hujan rerata daerah metode rata-rata aljabar dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Soemarto, 1999 : 10) :

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n} \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

dengan :

d = Tinggi curah hujan rata-rata daerah
 d_1, d_2, \dots, d_n = Tinggi curah hujan pada pos penakar 1, 2, ..., n
 n = Banyaknya pos penakar

Cara ini akan memberikan hasil yang dapat dipercaya jika pos-pos penakarnya ditempatkan secara merata di daerah tersebut, dan hasil penakaran masing-masing pos penakar tidak menyimpang jauh dari nilai rata-rata seluruh pos di seluruh areal (Soemarto, 1999 : 10).

2. Metode poligon Thiessen

Cara ini digunakan jika titik-titik pengamatan di dalam daerah tersebut tidak tersebar merata. Cara ini berdasarkan rata-rata timbang (*weighted average*). Masing-masing penakar mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan

menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung di antara dua buah pos penakar.

Curah hujan rerata daerah metode poligon Thiessen dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Soemarto, 1999 : 11) :

$$d = \frac{A_1 d_1 + A_2 d_2 + \dots + A_n d_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i d_i}{A_i} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i d_i}{A} \dots \dots \dots (2-3)$$

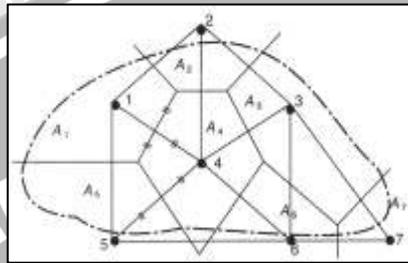
dengan :

A = Luas areal

d = Tinggi curah hujan rata-rata areal

d_1, d_2, \dots, d_n = Tinggi curah hujan di pos 1,2,...,n

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ = Luas daerah pengaruh pos 1,2,3,...,n

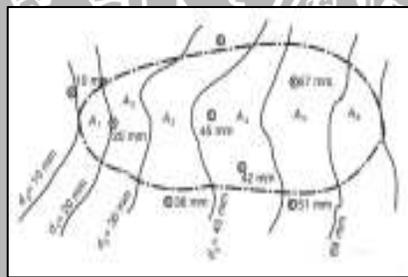


Gambar 2.3 Metode Poligon Thiessen

Sumber : Soemarto, 1999 : 10

3. Metode garis isohyet

Dengan cara ini, maka harus digambar dulu kontur dengan tinggi hujan yang sama (*isohyet*).



Gambar 2.4 Metode garis isohyet

Sumber : Soemarto, 1999 : 11

Kemudian luas bagian di antara *isohyet-isohyet* yang berdekatan diukur, dan nilai rata-ratanya dihitung sebagai nilai rata-rata timbang hitung nilai kontur, sebagai berikut:

$$d = \frac{\frac{d_0 + d_1}{2} A_1 + \frac{d_1 + d_2}{2} A_2 + \dots + \frac{d_{n-1} + d_n}{2} A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots \dots \dots (2-4)$$

dengan :

A = Luas areal total

d = Tinggi hujan rata-rata areal

$d_0, d_1, d_2, \dots, d_n$ = Curah hujan pada *isohyet* 0,1,2,...,n

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ = Luas bagian areal yang dibatasi oleh *isohyet-isohyet* yang bersangkutan

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, dapat diwakili oleh sebuah alat ukur curah hujan.
2. Untuk daerah tinjauan dengan luas 250-50.000 ha yang memiliki 2 atau 3 titik pengamatan dapat menggunakan metode rata-rata aljabar.
3. Untuk daerah tinjauan dengan luas 120.000-500.000 ha yang mempunyai titik-titik pengamatan tersebar cukup merata dan di mana curah hujannya tidak terlalu dipengaruhi oleh kondisi topografi, dapat digunakan cara rata-rata aljabar. Jika titik-titik pengamatan itu tersebar tidak merata maka digunakan cara poligon Thiessen.
4. Untuk daerah tinjauan dengan luas lebih dari 500.000 ha dapat digunakan cara *isohyet* atau metode potongan antara (*inter-section method*).

2.2.3 Curah Hujan Rancangan

Curah hujan rancangan adalah curah hujan terbesar yang mungkin terjadi di suatu daerah dengan peluang tertentu. Metode analisis hujan rancangan tersebut pemilihannya sangat bergantung dari kesesuaian parameter statistik dari data yang bersangkutan, atau dipilih berdasarkan pertimbangan-pertimbangan teknis lainnya. Untuk menentukan metode yang sesuai, maka terlebih dahulu harus dihitung besarnya parameter statistik yaitu koefisien kemencengan (*skewness*) atau C_s , dan koefisien kepuncakan (*kurtosis*) atau C_k . Persamaan yang digunakan adalah (Sri Harto, 1993: 245) :

$$C_s = \frac{n \sum (x - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \dots\dots\dots (2-5)$$

$$C_k = \frac{n^2 \sum (x - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)S^4} \dots\dots\dots (2-6)$$

Hasil perhitungan C_s dan C_k tersebut kemudian disesuaikan dengan syarat pemilihan metode frekuensi seperti tabel berikut :

Tabel 2.1. Pemilihan Metode Frekuensi

Jenis Metode	Ck	Cs
Gumbel	5,4002	1,1396
Normal	3,0	0
Log Normal	+	+
Log Pearson Tipe III	bebas	Bebas

Sumber : Sri Harto, 1993 : 245

Adapun dalam studi ini, curah hujan rancangan dihitung dengan menggunakan metode Log Pearson Tipe III, karena metode ini dapat dipakai untuk semua sebaran data tanpa harus memenuhi syarat koefisien kemencengan (*skewness*) dan koefisien kepuncakan (*kurtosis*).

Langkah-langkah perhitungan distribusi Log Pearson Tipe III adalah (Soemarto, 1999:152) :

1. Mengubah data curah hujan harian maksimum tahunan dalam bentuk logaritma.
2. Menghitung nilai rerata logaritma dengan rumus :

$$\overline{\text{Log}X} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log}X_i}{n} \dots\dots\dots (2-7)$$

dengan :

$\overline{\text{Log}X}$ = Logaritma hujan rerata harian maksimum

n = Banyaknya data

3. Menghitung besarnya simpangan baku (standar deviasi) dengan rumus :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log}X_i - \overline{\text{Log}X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2-8)$$

4. Menghitung koefisien kemencengan dengan rumus :

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\text{Log}X_i - \overline{\text{Log}X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \dots\dots\dots (2-9)$$

5. Menghitung logaritma curah hujan rancangan dengan periode ulang tertentu :

$$\text{Log} X = \overline{\text{Log}X} + K.S \dots\dots\dots (2-10)$$

dengan :

$\text{Log} X$ = Logaritma besarnya curah hujan untuk periode ulang T tahun

$\overline{\text{Log}X}$ = Rata-rata dari logaritma curah hujan

K = Faktor sifat distribusi Log Pearson Tipe III yang merupakan fungsi koefisien

kemencengan (Cs) terhadap kala ulang atau probabilitas (P).

S = Simpangan baku (standar deviasi)

6. Mencari antilog dari Log X untuk mendapatkan curah hujan rancangan dengan kala ulang tertentu.

2.2.4 Uji Kesesuaian Distribusi

Uji kesesuaian distribusi digunakan untuk mengetahui apakah distribusi yang dipilih dapat digunakan atau tidak untuk serangkaian data yang tersedia.

2.2.4.1 Uji *Chi Square*

Uji *Chi Square* dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter χ^2 yang dapat dihitung dengan rumus (Soewarno, 1995 : 194) :

$$\chi_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2-11)$$

dengan :

χ_h^2 = Parameter *Chi Square* terhitung

G = Jumlah sub grup

O_i = Jumlah nilai pengamatan pada sub grup ke i

E_i = Jumlah nilai teoritis pada sub grup ke i

Adapun langkah-langkah perhitungan dari uji *Chi Square* adalah sebagai berikut (Soewarno, 1995 : 194) :

1. Urutkan data pengamatan (dari besar ke kecil atau sebaliknya)
2. Kelompokkan data menjadi G sub grup, tiap-tiap sub grup minimal empat data pengamatan.
3. Jumlahkan data pengamatan sebesar O_i tiap-tiap sub grup
4. Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_i
5. Tiap-tiap sub grup hitung nilai :

$$(O_i - E_i) \text{ dan } \frac{(O_i - E_i)}{E_i}$$

6. Jumlah seluruh G sub grup nilai $\frac{(O_i - E_i)}{E_i}$ untuk menentukan nilai *Chi Square* hitung
7. Tentukan derajat kebebasan $dk = G - R - I$
8. Menentukan χ^2 dari tabel dengan menentukan derajat kepercayaan (α) dan derajat

kebebasan (dk)

9. Menyimpulkan hasil perhitungan, apabila nilai $\chi^2_{hit} < \chi^2_{cr}$ maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima, dan apabila nilai $\chi^2_{hit} > \chi^2_{cr}$ maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan tidak dapat diterima.

2.2.4.2 Uji *Smirnov Kolmogorov*

Uji *Smirnov Kolmogorov* digunakan untuk membandingkan peluang yang paling maksimum antara distribusi empiris dan distribusi teoritis yang disebut Δ_{maks} . Prosedur perhitungan uji *Smirnov Kolmogorov* adalah sebagai berikut (Soewarno, 1995 : 198) :

1. Data diurutkan dari kecil ke besar
2. Menghitung peluang empiris (P_e) dengan rumus Weibull (Soewarno, 1995 : 114) :

$$P_e = \frac{m}{n+1} \dots\dots\dots (2-12)$$

dengan :

P_e = Peluang empiris

m = Nomor urut data

n = Banyaknya data

3. Menghitung peluang teoritis (P_t) dengan rumus :

$$P_t = 1 - Pr \dots\dots\dots (2-13)$$

dengan : Pr = probabilitas yang terjadi

4. Menghitung simpangan maksimum (Δ_{maks}) dengan rumus :

$$\Delta_{maks} = |P_t - P_e| \dots\dots\dots (2-14)$$

5. Menentukan nilai Δ_{tabel}

6. Menyimpulkan hasil perhitungan, yaitu apabila $\Delta_{maks} < \Delta_{tabel}$ maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima, dan apabila $\Delta_{maks} > \Delta_{tabel}$ maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi tidak dapat diterima.

2.3 Analisa Debit Banjir Rancangan

Debit banjir rancangan adalah debit banjir terbesar tahunan dengan suatu kemungkinan terjadi kala ulang tertentu, atau debit dengan suatu kemungkinan periode ulang tertentu. Untuk menganalisa debit banjir rancangan dapat dilakukan dengan menggunakan metode hidrograf yang dilakukan dengan menggunakan bantuan model hidrograf satuan sintetis dan metode non hidrograf yang dilakukan dengan

bantuan teknik analisis frekuensi yang memerlukan ketersediaan data debit tahunan pada lokasi yang dikaji.

Dalam melakukan studi ini penentuan debit banjir rancangan dilakukan dengan menggunakan pendekatan metode hidrograf satuan sintetis Nakayasu yang digunakan untuk mengetahui besarnya debit banjir eksisting (tata guna lahan eksisting) dan debit banjir rancangan setelah adanya perubahan tata guna lahan dan metode Rasional Modifikasi yang digunakan untuk perhitungan debit limpasan permukaan maksimum di lahan. Debit maksimum ini nantinya diperlukan dalam penentuan erosivitas limpasan permukaan di lahan, yang kemudian digunakan dalam perhitungan laju erosi.

2.3.1 Metode Hidrograf Satuan Sintesis Nakayasu

Pendekatan metode hidrograf satuan sintetis Nakayasu dilakukan dalam menentukan debit banjir rancangan dalam studi ini karena sesuai dengan karakteristik banjir di daerah studi. Lengkung hidrograf Nakayasu memiliki karakteristik yang hampir sama dengan keadaan di Indonesia, yaitu banjir mencapai puncak dengan sekejap kemudian turun dengan perlahan-lahan. Dalam menganalisa debit banjir rancangan dengan metode hidrograf satuan sintetis Nakayasu terdapat beberapa langkah yang perlu diperhitungkan, yaitu :

2.3.1.1 Distribusi Hujan Jam-Jaman

Pada umumnya data hujan yang tersedia pada stasiun meteorologi adalah data hujan harian, artinya data hujan yang tercatat secara komulatif selama 24 jam. Apabila data hujan jam-jaman tidak tersedia, maka dapat dilakukan dengan menggunakan sebaran hujan jam-jaman, yaitu dengan rumus Mononobe sebagai berikut (Sosrodarsono, 2003 : 32) :

- 1. Rata-rata hujan sampai jam ke-T dengan rumus :

$$R_t = \frac{R_{24} \left(\frac{t}{T_c} \right)^{\frac{2}{3}}}{t} \dots\dots\dots (2-15)$$

- 2. Hitung distribusi hujan jam-jaman dengan rumus :

$$R_T = t \cdot R_t - [(t-1)R_{t-1}] \dots\dots\dots (2-16)$$

dengan :

R_t = Rata-rata hujan sampai jam ke-T (mm/jam)

R_{24} = Curah hujan maksimum harian dalam 24 jam (mm)

R_T = Curah hujan pada jam ke-T (mm)



t = Lama waktu hujan (jam), diasumsi durasi hujan selama 6 jam (hujan terpusat untuk daerah Indonesia rata-rata 6 jam)

T_c = Waktu konsentrasi hujan (jam)

2.3.1.2 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 (air larian) terhadap besarnya curah hujan. Angka koefisien pengaliran ini merupakan salah satu indikator untuk menentukan apakah suatu DAS tersebut telah mengalami gangguan fisik (Asdak, 2004:157). Nilai koefisien pengaliran (C) yang besar menunjukkan kondisi tata air dan tata guna lahan pada lahan tersebut telah mengalami kerusakan. Jika nilai koefisien pengaliran (C) besar, maka jumlah air hujan yang menjadi air tanah berkurang. Kerugian lainnya adalah ancaman terjadinya erosi dan banjir menjadi lebih besar. Harga koefisien pengaliran (C) untuk berbagai kondisi permukaan tanah didasarkan dengan suatu pertimbangan bahwa koefisien tersebut sangat tergantung pada faktor-faktor fisik, dapat ditentukan pada tabel 2.2 berikut :



Tabel 2.2. Nilai Koefisien Pengaliran

Tata Guna Lahan	C	Tata Guna Lahan	C
Perkantoran		Tanah lapang	
Daerah pusat kota	0,7-0,95	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 tinggal	0,30-0,50	Tanah berat, datar, 2%	0,13-0,17
Rumah susun, terpisah	0,40-0,60	Tanah berat, agak datar, 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	0,03-0,60
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 berta, 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, 2004 : 164

Penentuan nilai koefisien pengaliran suatu daerah yang terdiri dari beberapa tata guna 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) :

$$C_m = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + \dots + C_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots\dots\dots (2-17)$$

dengan :

C_m = Koefisien pengaliran rata-rata

C₁, C₂, ..., C_n = Koefisien pengaliran yang sesuai kondisi permukaan

A₁, A₂, ..., A_n = Luas daerah pengaliran yang disesuaikan kondisi permukaan.



2.3.1.3 Hujan Efektif

Hujan efektif adalah bagian hujan total yang menghasilkan limpasan langsung (*direct run off*). Limpasan langsung ini terdiri dari limpasan permukaan (*surface run off*) dan aliran yang masuk ke dalam lapisan tipis di bawah permukaan tanah dengan permeabilitas rendah, yang keluar lagi di tempat yang lebih rendah dan berubah menjadi limpasan permukaan (*interflow*).

Dengan menganggap bahwa proses transformasi hujan menjadi limpasan langsung mengikuti proses linier dan tidak berubah oleh waktu, maka hujan netto (R_n) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$R_n = C \times R \dots\dots\dots (2-18)$$

dengan :

R_n = Hujan efektif (mm)

C = Koefisien pengaliran

R = Intensitas curah hujan (mm)

2.3.1.4 Debit Banjir Rancangan

Debit banjir rancangan adalah debit banjir terbesar tahunan dengan suatu kemungkinan terjadi kala ulang tertentu, atau debit dengan suatu kemungkinan periode ulang tertentu. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut (Soemarto, 1999 : 100) :

$$Q_p = \frac{CA.R_o}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} \dots\dots\dots (2-19)$$

$$T_p = t_g + 0,8 \text{ tr} \dots\dots\dots (2-20)$$

$$\text{Panjang sungai (L) < 15 km} \quad t_g = 0,21L^{0,7} \dots\dots\dots (2-21)$$

$$\text{Panjang sungai (L) > 15 km} \quad t_g = 0,4 + 0,058L \dots\dots\dots (2-22)$$

$$\text{tr} = 0,5 t_g \text{ sampai } t_g \dots\dots\dots (2-23)$$

$$T_{0,3} = \alpha.t_g \dots\dots\dots (2-24)$$

Bagian lengkung naik (*increasing limb*) :

$$Q_a = Q_p (t/T_p)^{0,24} \dots\dots\dots (2-25)$$

Bagian lengkung turun (*decreasing limb*) :

Untuk $T_p \leq t < (T_p + T_{0,3})$, maka :

$$Q_{d1} = Q_p \cdot 0,3 \left(\frac{1-T_p}{T_{0,3}} \right) \dots\dots\dots (2-26)$$

Untuk $(T_p + T_{0,3}) \leq t < (T_p + T_{0,3} + 1,5 \cdot T_{0,3})$, maka :

$$Q_{d2} = Q_p \cdot 0,3 \left(\frac{1-T_p+0,5T_{0,3}}{1,5T_{0,3}} \right) \dots\dots\dots (2-27)$$

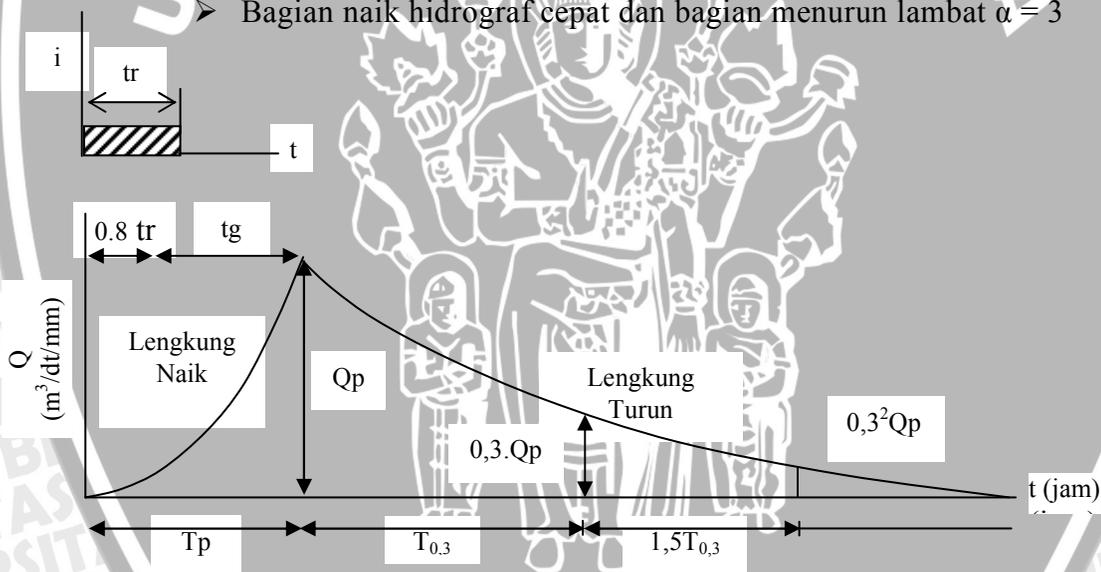
Untuk $t \geq (T_p + T_{0,3} + 1,5 \cdot T_{0,3})$, maka :

$$Q_{d3} = Q_p \cdot 0,3 \left(\frac{1 - T_p + 1,5 T_{0,3}}{2 \cdot 0,3 T_{0,3}} \right) \dots \dots \dots (2-28)$$

dengan :

- Q_p = Debit puncak banjir ($m^3/det/mm$)
- CA = *Catchment Area*/luas DAS (km^2)
- R_o = Hujan satuan (mm)
- T_p = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)
- $T_{0,3}$ = Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak (jam)
- L = Panjang alur sungai (km)
- T_g = Waktu konsentrasi (jam)
- Q_a = Limpasan sebelum mencapai debit puncak ($m^3/det/mm$)
- T = Waktu (jam)
- α = Koefisien yang bergantung pada karakteristik DAS dengan kriteria :

- Daerah pengaliran biasa $\alpha = 2$
- Bagian naik hidrograf lambat dan bagian menurun cepat $\alpha = 1,5$
- Bagian naik hidrograf cepat dan bagian menurun lambat $\alpha = 3$



Gambar 2.5 Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu
Sumber : Soemarto,1999 : 102

Berdasarkan rumus-rumus di atas, maka hidrograf banjir untuk berbagai kala ulang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_k = U_1 \cdot R_i + U_2 \cdot R_{i-1} + U_3 \cdot R_{i-2} + \dots + U_n \cdot R_{i-n+1} + Bf \dots \dots \dots (2-29)$$



dengan :

Q_k = Ordinat hidrograf banjir pada jam ke k (m^3/det)

U_n = Ordinat hidrograf satuan ($m^3/det.mm$)

R_i = Hujan netto pada jam ke i (mm)

B_f = Aliran dasar (*Base Flow*), (m^3/det)

2.3.2 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. Rumus Metode Rasional Modifikasi dalam menentukan debit puncak, adalah sebagai berikut (Lewis. K.V, 1975 : 9) :

$$Q = 0,278.C_s. C. I. A \dots\dots\dots (2-30)$$

dengan :

Q = Debit puncak dengan kala ulang tertentu (m^3/det)

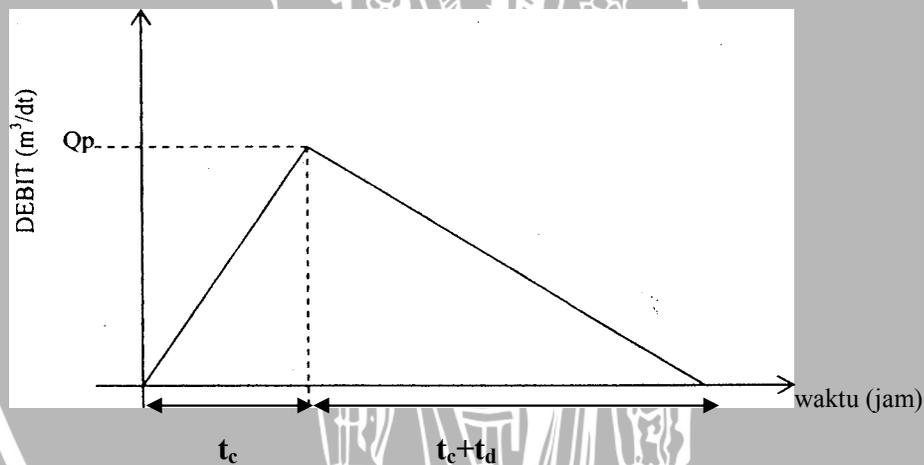
I = Intensitas hujan rata-rata dalam t jam (mm/jam)

C = Koefisien limpasan

A = Luas daerah pengaliran (km^2)

C_s = Koefisien tampungan

0,278 = Faktor konversi



Gambar 2.6 Hidrograf Rancangan Metode Rasional Modifikasi

Sumber : Lewis et al., 1975 : 12

2.3.2.1 Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi curah hujan dalam periode tertentu yang dinyatakan dalam satuan mm/jam. Dalam studi ini, rumus empiris untuk menghitung intensitas hujan dalam menentukan debit puncak dengan metode Rasional Modifikasi, digunakan rumus Mononobe (Sosrodarsono, 2003 : 32) :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^m \dots\dots\dots (2-31)$$

dengan :

- I = Intensitas hujan (mm/jam)
- R₂₄ = Curah hujan maksimum 24 jam (mm)
- t = Waktu konsentrasi (jam)
- m = Konstanta

2.3.2.2 Waktu Konsentrasi (T_c)

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

$$T_c = T_0 + T_d \dots\dots\dots (2-32)$$

dengan :

- T_c = Waktu konsentrasi (jam)
- T₀ = *Overland flow time* atau waktu yang dibutuhkan limpasan (*run off*) untuk mengalir melalui permukaan tanah ke *outlet* terdekat.

T₀ dapat dihitung dengan rumus berikut, (Suripin, 2004 : 82) :

$$T_0 = \left[\frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{S}} \times \frac{1}{60} \right] \text{ (jam)} \dots\dots\dots (2-33)$$

dengan :

- L = Panjang lintasan aliran di atas permukaan lahan (m)
- n = Angka kekasaran Manning
- S = Kemiringan lahan (m/m)
- T_d = *Drain flow time* atau waktu aliran dimana air jatuh pada titik awal masuk sungai sampai 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 (Suripin, 2004 : 82) :

$$T_d = \frac{L}{3600v} \text{ (jam)} \dots\dots\dots (2-34)$$

dengan :

- L = Panjang sungai (m)
- v = Kecepatan aliran rerata (m/det)

dimana nilai v dapat dihitung dengan rumus berikut, (Anonim, *Highway*

design manual, 2001 : 810) :

$$v = 4,918(S)^{1/2} \dots\dots\dots (2-35)$$

dengan :

v = Kecepatan aliran rerata (m/det)

S = Kemiringan sungai (m/m)

2.3.2.3 Koefisien Tampungan (C_s)

Suatu areal DAS, semakin luas akan berdampak terhadap besarnya tampungan di sungai, yang berakibat juga terhadap besar debit banjir yang terjadi. Oleh karenanya perlu diperhitungkan dalam metode Rasional Modifikasi. Koefisien tampungan dapat dirumuskan, (Lewis et all., 1975 : 12) :

$$C_s = \frac{2T_c}{2T_c + T_d} \dots\dots\dots (2-36)$$

dengan : T_c = Waktu konsentrasi (jam)

T_d = *Drain flow time* (jam)

2.4 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).

2.4.1 Proses Erosi

Dua penyebab utama terjadinya erosi adalah erosi karena sebab alamiah yang terjadi karena proses pembentukan tanah dan proses erosi yang terjadi untuk mempertahankan keseimbangan tanah secara alami, tetapi masih memberikan media yang memadai untuk berlangsungnya pertumbuhan kebanyakan tanaman dan erosi karena aktivitas manusia yang 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. Hancuran agregat tanah ini akan menyumbat pori-pori tanah, kemudian kapasitas infiltrasi tanah akan menurun dan mengakibatkan 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, yaitu :

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

2.4.2 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. Oleh karena itu Morgan (1979) dalam Utomo (1994:20) membedakan bentuk erosi menjadi :

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

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*).

2.4.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Erosi

Erosi terjadi melalui proses penghancuran atau pengikisan, pengangkutan dan pengendapan. Hudson (1976) dalam Utomo (1994 : 25) 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 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.

Menurut Asdak (2004), empat faktor utama yang dianggap menentukan besarnya 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. 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 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 dan dengan demikian 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 terdiri atas limbah tanaman dan hewan sebagai hasil proses dekomposisi. Unsur organik cenderung memperbaiki struktur tanah dan bersifat

meningkatkan permeabilitas tanah, kapasitas tampung air tanah, kesuburan tanah. Kumpulan unsur organik di atas permukaan tanah dapat menghambat kecepatan air larian, dan dengan demikian menurunkan potensi terjadinya erosi.

- c). Struktur tanah adalah susunan partikel-partikel tanah yang membentuk agregat. Struktur tanah mempengaruhi kemampuan tanah dalam menyerap air tanah.
- d). Permeabilitas tanah menunjukkan kemampuan tanah dalam meloloskan air. Struktur dan tekstur tanah serta unsur organik lainnya ikut ambil bagian dalam menentukan permeabilitas tanah.

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. Kecepatan air larian yang besar, umumnya ditentukan oleh kemiringan lereng yang tidak terputus dan panjang, serta terkonsentrasi pada saluran-saluran sempit yang mempunyai potensi besar untuk terjadinya erosi alur dan erosi parit. Lereng bagian bawah lebih mudah tererosi daripada lereng bagian atas karena momentum air larian lebih besar dan kecepatan air larian lebih terkonsentrasi ketika mencapai lereng bagian bawah.

4. Vegetasi penutup tanah

Pengaruh vegetasi penutup tanah terhadap erosi adalah :

- a. Melindungi permukaan tanah dari tumbukan air hujan (menurunkan kecepatan terminal tanah dan memperkecil diameter 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.

Efektifitas tanaman penutup dalam mengurangi erosi tergantung pada ketinggian dan kontinuitas penutupan, kerapatan penutup tanah dan kerapatan perakaran (Suripin, 2004:59).

2.4.4 Pendugaan Laju Erosi Metode MUSLE

Metode *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE) merupakan modifikasi dari metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE) yang dikembangkan oleh Williams (1978). Pada metode MUSLE faktor energi curah hujan digantikan dengan faktor limpasan permukaan, sehingga besarnya perkiraan hasil sedimen menjadi lebih besar. Pada daerah yang cukup luas, selama erosi juga terjadi pengendapan dalam proses

pengangkutan. Oleh karena itu, Williams (1978) mengadakan modifikasi terhadap metode USLE untuk menduga hasil endapan dari setiap kejadian limpasan permukaan, dengan mengganti indeks erosivitas hujan dengan limpasan permukaan (Utomo, 1994 : 154). Metode MUSLE, dapat dirumuskan :

$$A = R_w.K.LS.C.P \dots\dots\dots(2-37)$$

dengan :

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

R_w = Faktor erosivitas limpasan permukaan menurut Williams

K = Faktor erodibilitas tanah

L = Faktor panjang kemiringan lereng

S = Faktor gradien (beda) kemiringan yang tidak mempunyai satuan

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/allow*

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.

2.4.4.1 Indeks Erosivitas Hujan (R_w)

Erosivitas merupakan kemampuan hujan dalam mengikis lapisan permukaan tanah sehingga menimbulkan erosi. Menurut Asdak (2004), erosivitas hujan adalah tenaga pendorong yang menyebabkan terkelupasnya dan terangkutnya partikel-partikel tanah ke tempat yang lebih rendah. Erosivitas hujan sebagian terjadi karena pengaruh jatuhnya butir-butir hujan langsung di atas tanah dan sebagian lagi karena aliran air di atas permukaan tanah. Erosivitas hujan sangat berkaitan dengan energi kinetis dan momentum, yaitu parameter yang berasosiasi dengan laju curah hujan atau volume hujan. Untuk menghitung indeks erosivitas membutuhkan data curah hujan yang diperoleh dari stasiun pencatatan hujan.

Indeks erosivitas untuk pendugaan besarnya laju erosi dapat dihitung dengan :

1. Metode yang dikemukakan oleh Arnoldus (1978), rumus yang digunakan :

$$R = \frac{P_n^2}{P} \dots\dots\dots(2-38)$$

dengan :

- R = Indeks erosivitas (mm)
 P_n = Rerata curah hujan bulanan (mm)
 P = Rerata curah hujan tahunan (mm)

2. Analisa indeks erosivitas menurut Bols.

Bols (1978) berdasarkan penelitiannya di Pulau Jawa dan Madura mendapatkan persamaan sebagai berikut (Suripin, 2004 : 72) :

$$El_{30} = 6,119 P_b^{1,211} \cdot N^{-0,474} \cdot P_{max}^{0,526} \dots\dots\dots (2-39)$$

dengan :

- El_{30} = Indeks erosi hujan bulanan (KJ/ha)
 P_b = Curah hujan bulanan (cm)
 N = Jumlah hari hujan per bulan (hari)
 P_{max} = Hujan maksimum harian 24 jam dalam bulan yang bersangkutan (cm)

3. Analisa indeks erosivitas menurut Williams.

Digunakan pada daerah aliran yang cukup luas, selama erosi juga terjadi pengendapan dalam proses pengangkutan. Hasil endapan dipengaruhi oleh limpasan permukaan. Dalam rumus ini, William mengadakan modifikasi USLE untuk menduga hasil endapan dari setiap kejadian limpasan permukaan dengan cara mengganti indeks erosivitas (R) dengan erosivitas limpasan permukaan (R_w). Rumus indeks erosivitas menurut Williams, sebagai berikut (Utomo, 1994 : 154) :

$$R_w = 9,05 \cdot (V_o \cdot Q_p)^{0,56} \dots\dots\dots (2-40)$$

dengan :

- V_o = Volume limpasan permukaan (m^3)
 Q_p = Debit aliran puncak (m^3/det)

Volume limpasan permukaan dirumuskan :

$$V_o = R \cdot \exp(-R_c/R_o) \dots\dots\dots (2-41)$$

dimana :

$$R_c = 1000 \cdot MS \cdot \rho_b \cdot RD \cdot (E_t/E_o)^{0,50} \dots\dots\dots (2-42)$$

$$R_o = R/R_n \dots\dots\dots (2-43)$$

dengan :

- R = Hujan tahunan (mm)
 R_c = Kapasitas penyimpanan lengas tanah
 MS = Kandungan lengas pada kapasitas lapang (%) pada tabel 2.3
 ρ_b = Berat jenis volume lapisan tanah atas (Mg/m^3) pada tabel 2.3
 RD = Kedalaman perakaran efektif (m), didefinisikan sebagai lapisan

Impermeabel. Besarnya ditentukan sebagai berikut :

- Untuk tanaman pohon, tanaman kayu = 0,10
- Untuk tanaman semusim dan rumput = 0,05

E_t/E_{t_0} = Perbandingan evapotranspirasi aktual dengan evapotranspirasi potensial

R_n = Jumlah hari hujan (hari)

Tabel 2.3. Nilai MS dan pb pada Berbagai Macam Tekstur Tanah

Tekstur Tanah	MS (% w/w)	pb (Mg/m ³)
Liat (<i>clay</i>)	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 E_t/E_0 Beberapa Macam Tanaman

Tanaman	E_t/E_0
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

4. Analisa indeks erosivitas menurut Utomo dan Mahmud.

Metode ini menggunakan data jumlah hujan. Bila diterapkan untuk curah hujan yang tidak terlalu tinggi, maka akan memberikan hasil yang tidak berbeda jauh dengan perhitungan Wischmeir. Bila diterapkan untuk curah hujan yang tinggi (>2500 mm/thn) maka hasil yang diperoleh terlalu rendah. Utomo dan Mahmud (1984) mencoba menggunakan data jumlah hujan untuk menghitung Indeks erosivitas hujan di DAS Brantas, hasil yang diperoleh (Utomo, 1994 : 45)

$$R = 10,80 + 4,15 \text{ HB} \dots\dots\dots (2-44)$$

dengan :

R = Indeks erosivitas bula pan

HB = Curah hujan bulanan (cm)

2.4.4.2 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, besarnya gangguan oleh manusia, karakteristik tanah seperti tekstur tanah, stabilitas agregat tanah, kapasitas infiltrasi, serta kandungan organik dan kimia tanah. Karakteristik tanah tersebut dapat berubah seiring dengan perubahan waktu dan tata guna lahan atau sistem pertanian. 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 (Asdak, 2004 : 360). Peranan tekstur 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 resisten terhadap pengelupasan karena sifat kohesi tanah tersebut juga besar (Asdak, 2004 : 360). 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 digunakan beberapa metode, antara lain dengan menggunakan tabel hasil penelitian jenis tanah dan dengan menggunakan nomograf. Berikut ini, merupakan 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 (Haplortnox)	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 (Oxierystropept)	0,12
11	Latosol Merah kuning ((Typic Naplortnox)	0,26
12	Latosol Coklat (Typic Tropudulut)	0,23

No	Jenis Tanah	Nilai K
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	0,17 - 0,30
30	Maditeran Dampit	0,21 - 0,30
31	Latosol Blitar Selatan	0,14 - 0,20

Sumber : BRLKT Brantas

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

Panjang lereng (L) mengacu pada aliran air permukaan, yaitu lokasi berlangsungnya erosi dan kemungkinan terjadinya deposisi sedimen. Pada umumnya, kemiringan lereng diperlakukan sebagai faktor yang seragam. Sifat lereng yang mempengaruhi energi penyebab erosi adalah :

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

Kemiringan lereng (S) mempengaruhi kecepatan dan volume limpasan permukaan. Semakin curam suatu lereng, maka persentase kemiringan lereng semakin besar, sehingga semakin cepat laju limpasan permukaan yang menyebabkan volume limpasan semakin besar, karena singkatnya waktu untuk infiltrasi, dengan demikian laju erosi semakin besar.

Faktor panjang lereng dapat dihitung dengan persamaan (Anonim, 1998 : 49) :

$$L = \sqrt{\frac{L_o}{22}} \dots\dots\dots(2-45)$$

dengan :

L = Nilai faktor panjang lereng

Lo = Panjang lereng (m)

Hasil perhitungan nilai faktor panjang lereng dengan rumus tersebut dapat dilihat pada tabel 2.6 berikut :

Tabel 2.6 Nilai Faktor Panjang Lereng

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

Sumber : Dirjen RLKT, 1998

Nilai faktor kemiringan lereng (S) dapat dihitung dengan cara empiris dan estimasi, yang dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut (Anonim, 1998 : 50) :

$$S = (s/9)^{1,4} \dots\dots\dots(2-46)$$

dengan :

S = Kemiringan lereng (%)

Tabel 2.7 Nilai Faktor Kemiringan Lereng

Klas Lereng	Kemiringan (%)	Rata-rata 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, 1998

2.4.4.4 Faktor pengelolaan Tanaman (C)

Faktor pengelolaan tanaman merupakan faktor yang menggambarkan nisbah antara besarnya erosi dari lahan yang bertanaman tertentu dan dengan pengelolaan tertentu terhadap besarnya erosi tanah yang tidak ditanami dan diolah bersih (Suripin, 2004 : 79). 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.

Kerapatan tanaman berpengaruh pada tanah yang terlindungi dari pukulan butir-butir hujan. Lahan dengan jarak penanaman yang rapat lebih aman terhadap erosi jika dibandingkan dengan lahan dengan jarak penanaman jarang karena butiran hujan tidak terhalang oleh bagian-bagian tanaman tersebut. Nilai faktor C untuk berbagai tanaman dan pengelolaan tanaman bersumber dari berbagai penelitian yang disajikan pada tabel 2.8 berikut :

Tabel 2.8 Nilai Faktor Pengelolaan Tanaman (C)

No	Macam Penggunaan Lahan	Nilai Faktor C
1	Tanah terbuka, tanpa tanaman	1
2	Hutan atau semak belukar	0,001
3	Savanah dan prairie dalam kondisi baik	0,01
4	Savanah dan prairie yang rusak untuk gembalaan	0,1
5	Sawah	0,01
6	Tegalan tidak dispesifikasi	0,7
7	Ubi kayu	0,8
8	jagung	0,7
9	Kedelai	0,399
10	Kentang	0,4
11	Kacang tanah	0,2
12	Padi gogo	0,561
13	Tebu	0,2
14	Pisang	0,6
15	Akar wangi (sereh wangi)	0,4
16	Rumput bedé (tahun pertama)	0,287
17	Rumput bedé (tahun kedua)	0,002
18	Kopi dengan penutup tanah buruk	0,2
19	Talas	0,85
20	Kebun campuran	
	-Kerapatan tinggi	0,1
	-Kerapatan sedang	0,2
	-Kerapatan rendah	0,5
21	Perladangan	0,4
22	Hutan alam	
	-Seresah banyak	0,001
	-Seresah sedikit	0,005
23	Hutan produksi	
	-Tebang habis	0,5
	-Tebang pilih	0,2
24	Semak belukar, Padang rumput	0,3
25	Ubi kayu + Kedelai	0,181
26	Ubi Kayu + kacang tanah	0,195
27	Padi-Sorgum	0,345
28	Padi-Kedelai	0,417
29	Kacang tanah-Gude	0,495
30	Kacang tanah + kacang tunggak	0,571
31	Kacang tanah + mulsa jerami 4 t/ha	0,049
32	Padi + mulsa jerami 4 t/ha	0,096
33	Kacang tanah + mulsa jagung 4t/ha	0,128
34	Kacang tanah + mulsa clotalaria 3t/ha	0,136
35	Kacang tanah + mulsa kacang tunggak	0,256
36	kacang tanah + mulsa jerami 2t/h	0,377
37	Padi + mulsa clotalaria 3t/ha	0,387

No	Macam Penggunaan Lahan	Nilai Faktor C
38	Pola tanaman tumpang gilir + mulsa jerami	0,079
39	Pola tanaman berurutan + mulsa sisa tanaman	0,357
40	Alang-alang rurni subur	0,001
41	Padang rumput (stepa) dan savana	0,001
42	Rumput Brachiaria	0,002

Sumber : Suripin, 2004 : 79

2.4.4.5 Faktor Tindakan Konservasi (P)

Faktor tindakan konservasi adalah nisbah antara besarnya erosi dari lahan dengan suatu tindakan konservasi tertentu terhadap besarnya erosi pada lahan tanpa tindakan konservasi (Suripin, 2004 : 80). Efektifitas tindakan konservasi dalam mengendalikan erosi tergantung pada panjang dan kemiringan lereng. Morgan (1988) dalam Suripin (2004) menyatakan bahwa pencangkulan dan penanaman searah kontur dapat mengurangi erosi tanah pada lahan yang miring, sampai 50% dibandingkan dengan penanaman ke arah atas-bawah. Nilai faktor P, dapat dilihat pada tabel 2.9 berikut :

Tabel 2.9 Nilai faktor P untuk Berbagai Tindakan Konservasi Tanah

No	Tindakan Khusus Konservasi Tanah	Nilai P
1	Tanpa tindakan pengendalian erosi	1
2	Teras bangku	
	-Konstruksi baik	0,04
	-Konstruksi sedang	0,15
	-Konstruksi kurang baik	0,35
	Teras tradisional	0,4
3	Strip tanaman	
	-Rumput bahia	0,4
	-Clotalaria	0,64
	-Dengan kontur	0,2
4	Pengolahan tanah dan penanaman menurut garis kontur	
	-Kemiringan 0-8%	0,5
	-Kemiringan 8-20%	0,75
	-Kemiringan >20%	0,9

Sumber : Suripin, 2004 : 79

2.5 Pendugaan Kekritisan Lahan

Kekritisan lahan adalah suatu lahan yang keadaan fisiknya sedemikian rupa sehingga lahan tersebut tidak dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan kegunaannya, baik sebagai media dalam berproduksi maupun sebagai media tata air. Lahan yang tergolong sebagai lahan kritis tersebut dapat berupa :

- Tanah gundul yang tidak bervegetasi sama sekali;
- Ladang alang-alang atau tanah yang ditumbuhi semak belukar yang tidak produktif;
- Areal berbatu-batu, berjurang atau berparit sebagai akibat erosi tanah;
- Tanah yang kedalaman solumnya sudah tipis sehingga tanaman tidak dapat tumbuh

dengan baik;

- e. Tanah yang tingkat erosinya melebihi erosi yang diijinkan.

Kekritisan lahan menurut Kebutuhan Riset, Inventarisasi dan Koordinasi Pengelolaan Sumber Daya Tanah dapat diklasifikasikan menjadi empat kategori, yaitu :

1. Potensial Kritis
2. Semi Kritis
3. Kritis
4. Sangat Kritis

2.5.1 Erosi Yang Diperbolehkan

Erosi yang diperbolehkan adalah kecepatan erosi yang masih berada dibawah laju pembentukan tanah. Terjadinya erosi pada suatu lahan tidak dapat dihentikan sehingga tidak terjadi erosi sama sekali. Pengendalian erosi yang dilakukan dimaksudkan agar erosi yang terjadi tidak mengganggu keseimbangan alam. Erosi di lahan pertanian dibatasi pada tingkat dimana erosi tidak mengganggu produktivitas tanaman. Menurut Wischmeier dan Smith (1971) dalam Utomo (1994 : 16) mengemukakan bahwa dalam menentukan nilai erosi yang diperbolehkan harus mempertimbangkan beberapa faktor, yaitu : ketebalan lapisan tanah atas, sifat fisik tanah, pencegahan terjadinya selokan (*gully*), penurunan bahan organik, kehilangan zat hara tanaman, kecepatan pembentukan tanah.

Menurut Arsyad, dengan menggunakan nisbah nilai untuk berbagai sifat dan stratum tanah, maka untuk tanah di Indonesia di sarankan nilai erosi yang diperbolehkan (T), disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 2.10 Pedoman Penetapan Nilai T untuk Tanah-Tanah di Indonesia

No	Sifat Tanah dan Sub Stratum	Nilai T (mm/th)
1	Tanah dangkal di atas batuan	0,0
2	Tanah sangat dangkal di atas batuan telah melapuk ((tidak terkonsolidasi)	0,4
3	Tanah dangkal di atas bahan telah melapuk	0,8
4	Tanah dengan kedalaman sedang di atas bahan telah melapuk	1,2
5	Tanah yang dalam dengan lapisan bawah yang kedap air di atas substrata yang telah melapuk	1,4
6	Tanah yang dalam dengan lapisan bawah yang berpermeabilitas lambat, di atas substrata yang telah melapuk	1,6
7	Tanah yang dalam dengan lapisan bawah yang berpermeabilitas sedang, di atas substrata yang telah melapuk	2,0
8	Tanah yang dalam dengan lapisan bawah yang permeabel, di atas substrata yang telah melapuk	2,5

Sumber : Arsyad, 2000 : 244

2.5.2 Tingkat Bahaya Erosi (TBE)

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 dapat ditentukan.

Untuk menentukan TBE, Dirjen RLKT (Departemen Kehutanan) menggunakan pendekatan tebal solum tanah yang sudah ada dan besarnya erosi sebagai dasar. Semakin dangkal solum tanahnya, berarti semakin sedikit tanahnya yang tererosi. Sehingga TBEnya sudah cukup besar meskipun tanah yang hilang belum terlalu besar (Hardjowigeno, 2003 : 203). Pada tabel 2.11 berikut ini disajikan tentang klasifikasi bahaya erosi.

Tabel 2.11 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

2.6 Klasifikasi Kemampuan Lahan

Langkah pertama dari usaha konservasi tanah adalah menggunakan tanah sesuai dengan kemampuannya. Kemampuan lahan adalah kemampuan suatu lahan untuk digunakan sebagai usaha pertanian yang paling intensif dengan memperhatikan perlakuan yang harus diberikan agar tidak menyebabkan kerusakan tanah karena erosi (Utomo, 1994 : 74). USDA telah mengembangkan sistem klasifikasi kemampuan lahan yang banyak digunakan di negara-negara agraris termasuk Indonesia. Klasifikasi kemampuan lahan menurut USDA terbagi menjadi beberapa tingkatan, yaitu (Utomo, 1994:75) :

a. Divisi

Pembagian lahan menjadi divisi berdasarkan pada mampu tidaknya suatu lahan untuk diusahakan menjadi lahan pertanian. Ada dua divisi lahan, yaitu :

1. Divisi (1) untuk lahan yang dapat diusahakan menjadi lahan pertanian
2. Divisi (2) untuk lahan yang tidak dapat dijadikan sebagai lahan pertanian.

b. Kelas

Kelas merupakan klasifikasi kemampuan tanah yang lebih detail dari pada divisi. Penggolongan dalam kelas berdasarkan pada intensitas faktor pembatas yang tidak dapat diubah, yaitu kelerengan lahan, tekstur tanah, kedalaman efektif, kondisi drainasi tanah, dan tingkat erosi yang terjadi.

Lahan dikelompokkan kedalam kelas I sampai kelas VIII. Ancaman kerusakan dan besarnya faktor penghambat meningkat seiring dengan bertambahnya kelas kemampuan lahan. Tanah kelas I-IV merupakan lahan yang sesuai untuk usaha pertanian, sedangkan kelas V-VIII tidak sesuai untuk usaha pertanian. Walaupun dipaksakan untuk pertanian, dikhawatirkan akan mendapatkan hasil yang tidak optimal, membutuhkan biaya yang sangat tinggi, maupun dapat merusak kondisi lahan.

Tabel 2.12. Deskripsi Kelas Kemampuan Lahan

Kelas	Deskripsi
<i>Lahan yang cocok untuk pertanian dan pemakaian lainnya</i>	
Kelas I	Lahan kelas ini merupakan lahan serbaguna (biasanya berupa sawah irigasi dengan tanaman padi sedikitnya 2 kali panen setahun), tanahnya dalam (>90 cm), drainase baik, tidak terpengaruh kekeringan, hara cukup tersedia, dan responsif terhadap pemakaian pupuk. Lereng kurang dari 4% serta tidak terancam banjir dan erosi.
Kelas II	Lahan kelas ini mempunyai pembatas fisik ringan jika digarap untuk tanaman pertanian tanpa teras dan biasanya berupa sawah irigasi dimana ketersediaan air secara normal memungkinkan sedikitnya 2 kali panen setahun, rentan terhadap pengendapan dan erosi, kedalaman tanah sedang (60-90 cm), dan bertekstur halus sampai agak kasar. Iklim yang kurang menguntungkan bersifat ringan; bulan kering sampai dengan 5 bulan berturut-turut dengan curah hujan < 100 mm/bln, dan 7-9 bulan basah dengan curah hujan > 200 mm/bln.
Kelas III	Lahan yang tergolong kelas III memiliki keterbatasan yang agak banyak dibanding kelas II, rentan terhadap pengendapan dan erosi, kesuburan alami rendah, kedalaman tanah dangkal sampai sedang (30-60 cm). Iklim yang kurang menguntungkan bersifat sedang; bulan kering sampai dengan 6 bulan berturut-turut dengan curah hujan < 100 mm/bln, dan 5-6 bulan basah dengan curah hujan > 200 mm/bln. Sesuai untuk segala bentuk usaha tani, agroforestry, dan padang rumput serta hutan produksi.
Kelas IV	Lahan pada kelas ini mempunyai pembatas fisik berat dengan kesuburan alami rendah, kedalaman tanah sangat dangkal sampai dangkal (15-30 cm). Iklim yang kurang menguntungkan tinggi; bulan kering sampai dengan 5 bulan berturut-turut dengan curah hujan < 100 mm/bln, dan 3-4 bulan basah dengan curah hujan > 200 mm/bln. Sering terjadi pada ketinggian 750 m dpl. Sesuai untuk budidaya tanaman pertanian umum, agroforestry, dan padang rumput serta hutan produksi.

Kelas	Deskripsi
<i>Lahan yang penggunaannya terbatas – biasanya tidak cocok untuk usaha pertanian</i>	
Kelas V	Lahan kelas V memiliki kedalaman tanah sangat dangkal (< 15 cm) dan atau terdapat banyak batu pada seluruh profil. Pembatas iklim ringan untuk padang rumput dan hutan produksi dengan 6-7 bulan kering berturut-turut (curah hujan < 100 mm/bln) dan 3-5 bulan basah (curah hujan > 200 mm/bln). Lahan ini sesuai untuk padang rumput, agroforestry, hutan, dan juga sesuai untuk budidaya tanaman pertanian umum jika teras bangku dapat dibuat.
Kelas VI	Lahan kelas VI adalah lahan dengan kemiringan lereng duram sampai sangat curam (35-65%), kedalaman tanah sangat dangkal (10-15 cm) pada lahan datar atau sedikit miring, banyak batu-batu terdapat di seluruh profil, kesuburan alami rendah. Pembatas iklim sedang dimana bulan kering berlangsung selama 3 bulan berturut-turut dengan curah hujan < 100 mm/bln dan bulan basah 2 bulan berturut-turut (curah hujan > 200 mm/bln). Paling sesuai untuk agroforestry, hutan produksi, atau padang rumput.
Kelas VII	Lahan kelas VII biasanya terletak pada kemiringan yang sangat curam sampai terjal (45-85%), kedalaman tanah amat sangat dangkal (<10 cm) dan batu-batu banyak sekali, kesuburan alami sangat rendah, pembatas iklim berat untuk padang rumput dan hutan produksi dengan bulan kering 4-7 bulan berturut-turut dengan curah hujan < 100 mm/bln serta bulan basah sampai dengan 2 bulan (curah hujan >200 mm/bln). Lebih sesuai untuk hutan, padang rumput, dan agroforestry pola kayu/rumput.
Kelas VIII	Lahan kelas VIII mempunyai pembatas fisik yang sangat berat seperti lereng yang terjal (lebih 85%), kondisi tanah amat sangat buruk, sering mengalami banjir yang merusakkan, drainase sangat jelek sehingga rumput tidak bisa tumbuh. Kelas ini lebih sesuai untuk dijadikan hutan lindung atau suaka alam (perlindungan DAS).

Sumber : Fletcher & Gibb, 1990 : 44

Faktor-faktor klasifikasi pada tingkat kelas adalah faktor pembatas yang bersifat permanen dan digolongkan berdasarkan besarnya intensitas faktor penghambat sebagai berikut (Arsyad, 1979 dalam Hardjowigeno, 2003 : 267) :

1. Tekstur tanah (t)
 2. Permeabilitas (p)
 3. Kedalaman efektif tanah (k)
 4. Lereng permukaan (l)
 5. Drainasi tanah
 6. Erosi (e)
- c. Subkelas

Subkelas adalah pembagian lebih lanjut dari kelas berdasarkan jenis faktor penghambat dominan, yaitu bahaya erosi (e), kedalaman tanah (s), dan gradien lereng (g). Jenis-jenis faktor penghambat ditulis dibelakang angka kelas, misalnya IIIe artinya lahan yang masalah utama yaitu terjadinya erosi. Ancaman erosi dapat berasal dari kecuraman lereng dan kepekaan erosi tanah.

d. Satuan Pengelolaan

Kemampuan lahan dalam tingkat satuan pengelolaan memberi keterangan yang lebih spesifik tentang cara pengelolaan lahan tersebut. Dalam klasifikasi kemampuan suatu pengelolaan lahan diberi simbol dengan menambahkan angka-angka Arab di belakang simbol subkelas, yang menunjukkan besarnya tingkat faktor penghambat. Misalnya IIIe₃

menunjukkan lahan kelas III dengan faktor penghambat erosi sedang.

Berdasarkan definisi kelas, subkelas, dan pengelompokkan sifat-sifat lahan maka hubungan antara kelas kemampuan dan kriteria klasifikasi lahan disusun dalam suatu matriks seperti ditunjukkan pada tabel 2.13.

Tabel 2.13 Kriteria Klasifikasi Kemampuan Lahan

No	Faktor Penghambat	Kelas Kemampuan Lahan							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	Tekstur tanah	ah-s	h-ak	h-ak	(+)	(+)	(+)	(+)	K
2	Lereng lahan	0-3	3-8	8-15	15-30	(+)	30-45	45-65	>65
3	Drainasi	b-ab	aj	j	sj	(++)	(+)	(+)	(+)
4	Kedalaman Efektif	>90	>90	60-90	30-60	(+)	<25	(+)	(+)
5	Keadaan Erosi		r	r	s	(+)	b	sb	(+)

Sumber : Hardjowigeno, 2003 : 273

Keterangan :

(+) = Dapat mempunyai nilai faktor penghambat dari kelas yang lebih rendah

(+)(+) = Permukaan tanah selalu tergenang

Tekstur :

ah = Agak halus
h = Halus
ak = Agak kasar
k = Kasar
s = Sedang

Drainasi :

b = Baik
ab = Agak baik
aj = Agak jelek
j = Jelek
sj = Sangat jelek

Erosi :

t = Tidak ada
r = Ringan
s = Sedang
b = Berat
sb = Sangat berat

2.7 Pola Rehabilitasi 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.

Program konservasi pola RLKT (Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah) yang umum dilaksanakan dalam skala DAS atau sub DAS di Jawa terdiri atas arahan penggunaan lahan, arahan RLKT, dan urutan tingkat kekritisan DAS.

2.7.1 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 kemiringan lereng, jenis tanah menurut kepekaannya terhadap erosi, 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 dari 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 :

Tabel 2.14 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, 2004 : 415

Tabel 2.15 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, Podsolik (peka)	60
5	Regosol, Litosol, Organosol, Renzina (sangat peka)	75

Sumber : Asdak, 2004 : 416

Tabel 2.16 Intensitas Hujan Harian Rata-rata

Kelas	Hujan Harian Rata-rata	Skor
1	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	34,8 mm/hari (sangat tinggi)	50

Sumber : Asdak, 2004 : 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 cara demikian, dapat dihasilkan kawasan

lindung, kawasan penyangga, dan kawasan budidaya. Berikut ini adalah kriteria yang digunakan untuk menentukan status kawasan berdasarkan fungsinya oleh Balai Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah (Asdak, 2004 : 416) :

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:

- a. Mempunyai kemiringan : lereng $> 45\%$
- b. Tanah dengan klasifikasi sangat peka terhadap erosi dan mempunyai kemiringan lereng $> 15\%$
- c. Merupakan jalur pengaman aliran sungai, sekurang-kurangnya 100 m di kiri-kanan alur sungai
- d. Merupakan pelindung mata air, yaitu 200 m dari pusat mata air
- e. Berada pada ketinggian ≥ 2000 m dpl.
- f. 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 :

- a. Keadaan fisik areal memungkinkan untuk dilakukan budidaya pertanian secara ekonomis
- b. Lokasinya secara ekonomis mudah dikembangkan sebagai kawasan penyangga
- c. 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.

2.7.2 Usaha Konservasi

Masalah konservasi tanah adalah masalah menjaga agar struktur tanah tidak terdispersi, dan mengatur kekuatan gerak dan jumlah aliran permukaan. Berdasarkan hal tersebut, ada tiga cara pendekatan dalam konservasi tanah yaitu (Arsyad, 1989 : 113) :

1. Menutup tanah dengan tumbuh-tumbuhan dan tanaman atau sisa-sisa tanaman atau tumbuhan agar terlindung dari daya perusak butir-butir hujan yang jatuh
2. Memperbaiki dan menjaga keadaan tanah agar resisten terhadap penghancuran agregat dan terhadap pengangkutan, dan lebih besar dayanya untuk menyerap air di permukaan tanah
3. Mengatur air aliran permukaan agar mengalir dengan kecepatan yang tidak merusak dan memperbesar jumlah air terinfiltrasi kedalam tanah.

Metode konservasi tanah yang umum digunakan, antara lain :

1. Metode Vegetatif

Metode Vegetatif adalah penggunaan tanaman atau tumbuhan dan sisa-sisanya untuk mengurangi daya rusak hujan yang jatuh, mengurangi jumlah dan daya rusak aliran permukaan dan erosi. Metode vegetatif mempunyai fungsi antara lain :

- a. Melindungi tanah terhadap daya perusak butir-butir hujan yang jatuh
- b. Melindungi tanah terhadap daya perusak aliran air di atas permukaan tanah
- c. Memperbaiki kapasitas infiltrasi tanah dan penahanan air yang langsung mempengaruhi besarnya aliran permukaan.

Metode vegetatif dapat dilakukan dengan berbagai macam cara yaitu :

- Penanaman tanaman penutup tanah (*vegetative cover*)
- Pertanaman dalam strip (*Strip Cropping*)
- Pertanaman berganda
- Penggunaan Mulsa
- Penghutanan kembali (reboisasi)

2. Metode Mekanik

Metode mekanik adalah semua perlakuan fisik mekanis yang diberikan terhadap tanah dan pembuatan bangunan untuk mengurangi aliran permukaan dan erosi, dan meningkatkan kemampuan penggunaan lahan. Metode mekanik dalam konservasi tanah berfungsi (Suripin, 2004:114) :

- a. Untuk memperlambat aliran permukaan
- b. Menampung dan mengalirkan aliran permukaan sehingga tidak merusak
- c. Memperbesar kapasitas infiltrasi air ke dalam tanah dan memperbaiki aerasi tanah
- d. Penyediaan air bagi tanaman.

Adapun usaha konservasi tanah dan air yang termasuk dalam metode mekanis antara lain :

1. Pengolahan tanah menurut kontur

2. Pembuatan Terras

- Macam-macam terras, antara lain :
- a. Terras Datar
 - b. Terras Kredit
 - c. Terras Gulud
 - d. Terras Bangku

Ada berbagai macam terras bangku yang dapat ditemukan di lapangan, antara lain (Utomo, 1994:82) : terras bangku datar (*level terrace*), terras bangku miring (*slope terrace*), terras bangku berlawanan lereng atau terras tajam (*steep terrace*)

3. Saluran pembuang air

4. Bangunan Terjunan (*drop structure*)

5. Bangunan *check dam*

2.8 Hubungan Antara Konservasi Lahan dengan Debit Banjir

Salah satu alternatif penanganan pengendalian banjir adalah dengan melakukan tinjauan terhadap aspek konservasi lahan. Konsep yang mendasari hubungan antara upaya tindakan konservasi lahan dengan besar debit banjir yang terjadi adalah adanya penurunan nilai koefisien pengaliran. Fenomena limpasan banjir yang terjadi pada suatu DAS merupakan fungsi karakteristik hujan dan karakteristik DAS. Karakteristik DAS yang berpengaruh adalah jenis tanah dan tata guna lahan. Tata guna lahan dan praktek pengelolaan DAS akan mempengaruhi nilai koefisien pengaliran yang pada gilirannya juga akan mempengaruhi besarnya debit banjir. Sehingga dalam tinjauan terhadap aspek konservasi lahan dapat dilakukan dengan meninjau kembali pemanfaatan tata guna lahan pada suatu DAS.

Dalam menentukan debit banjir, aspek tata guna lahan dapat terwakili oleh besarnya nilai koefisien pengaliran suatu lahan yang menunjukkan bagaimana kondisi lahan tersebut. Besarnya nilai koefisien pengaliran menunjukkan besarnya curah hujan yang menyebabkan limpasan permukaan pada permukaan tanah. Dengan menganalisa nilai koefisien pengaliran, dapat diketahui sejauh mana pengaruh hubungan konservasi lahan yang telah dilakukan terhadap besar reduksi debit banjir yang terjadi.

2.9 Sistem Informasi Geografis

2.9.1 Definisi Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem informasi geografis (SIG) adalah 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 geografis, yaitu : (a) masukan, (b) manajemen data/penyimpanan dan pemanggilan data, (c) analisis dan manipulasi data, (d) keluaran (Prahasta, 2002 : 55).

2.9.2 Model Data SIG

Pembawa informasi di dalam model-model data adalah objek. Objek 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 :

2.9.2.1 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 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 : titik dengan format, garis dengan format, poligon/Area, dengan format.

Topologi merupakan salah satu dari sejumlah hubungan terpenting yang dipertahankan didalam banyak basis data spasial. Struktur datanya menentukan bagaimana dan dimana titik-titik dan garis-garis berhubungan (bersambungan) satu dengan lainnya pada suatu node (persimpangan topologi). Selain itu, urutan koneksi atau keterhubungan juga menentukan bentuk dari suatu *arc* (sekumpulan titik pasangan koordinat) atau poligon.

2.9.2.2 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 pengelompokkan 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-field*nya, sehingga terbentuk beberapa *record* data. *Record-record*

data inilah yang akan diolah menjadi Sistem Informasi Geografis. Data atribut terdiri dari :

1. Formulir dan daftar, dengan format : kode alfabetik, kode alfa numerik dan angka.
2. Laporan lengkap, dengan format : kata kalimat dan keterangan lain.
3. Keterangan gambar (grafik/*chart*), dengan format : kata, angka, keterangan penunjuk liputan area, keterangan simbol.

2.9.3 Komponen Sistem Informasi Geografis

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*, survei 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 : peralatan data masukan, peralatan data keluaran, peralatan penyimpanan, *Processor*.

3. Perangkat lunak (*Software*)

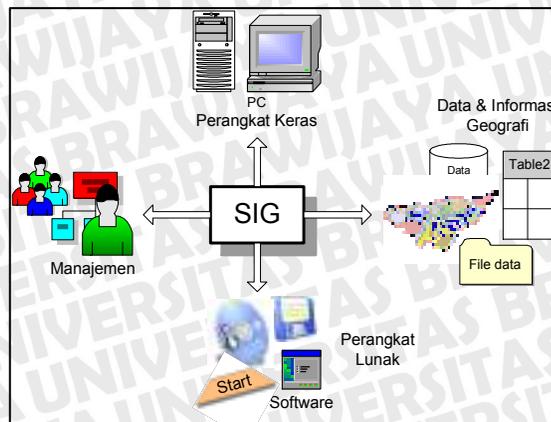
Software Sistem Informasi Geografis didesain untuk melakukan analisa geografi. Sebagian besar *software* tersebut dapat digunakan untuk memanipulasi spasial atau tabular data. *Software* juga merupakan kumpulan dari salah satu paket program yang berfungsi untuk mengoptimalkan kerja suatu sistem komputer.

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 Sistem Informasi Geografis akan berhasil jika di-manage dengan baik dan dikerjakan oleh orang-orang memiliki keahlian yang tepat pada semua tingkatan.



Gambar 2.7 Komponen Sistem Informasi Geografis

Sumber : Prahasta, 2001 : 61

2.9.4 Subsistem dalam SIG

SIG dapat diuraikan menjadi 4 (empat) subsistem yaitu (Prahasta, 1989 : 59) :

1. Pemasukan data (data input)

Subsistem pemasukan data (data input) berfungsi untuk mengumpulkan dan memasukan data spasial dan atribut dari berbagai sumber yang relevan untuk kepentingan analisa. Subsistem ini mengkonversi atau mentransformasikan dari format data aslinya kedalam bentuk digital sesuai format SIG.

2. Manajemen data

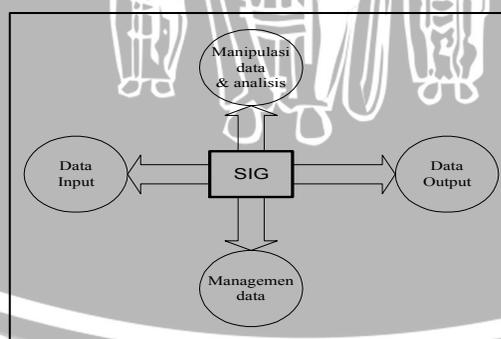
Subsistem manajemen data berfungsi sebagai pengorganisan data yang meliputi semua operasi penyimpanan, pengaktifan, penyimpanan kembali dan pencetakan semua data yang diperoleh dari pemasukan data. Basis data adalah himpunan dari beberapa berkas data atau tabel yang disimpan dengan suatu struktur tertentu, sehingga saling keterkaitan yang ada di antara anggota-anggota himpunan tersebut dapat diketahui, dimunculkan dan dimanipulasi oleh perangkat lunak manajemen basis data untuk keperluan tertentu.

3. Manipulasi dan analisis data

Fungsi analisis dan manipulasi yang merupakan bagian dari subsistem data manipulasi (*manipulation and data analysis*) ini berfungsi untuk menentukan informasi-informasi yang dapat dihasilkan oleh SIG. Selain itu subsistem ini melakukan manipulasi dan pemodelan data untuk keperluan informasi yang diharapkan. Fungsi analisis spasial dari SIG terdiri dari :

- a). Klasifikasi (*reclassify*) : fungsi ini mengklasifikasi kembali suatu data spasial/atribut menjadi data spasial yang baru dengan menggunakan kriteria tertentu.

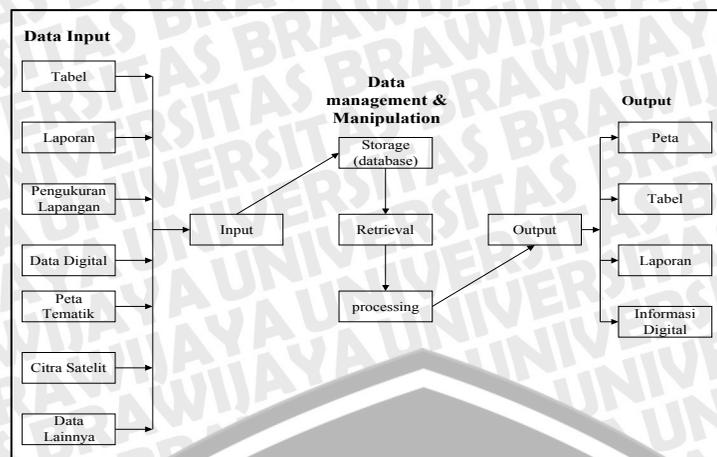
- b). Jaringan (*network*) : fungsi ini merujuk pada data-data spasial yang berupa titik-titik atau garis-garis sebagai suatu jaringan yang tidak terpisahkan.
- c). Tumpang susun (*overlay*) : fungsi ini menghasilkan data spasial baru dari minimal dua data spasial yang manjadi masukannya. Terdapat beberapa cara melakukan tumpang susun data gratis 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.
 - *Union* : *overlay* yang berupa penggabungan antara dua data grafis.
 - *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 inforasi 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.
- e). *3D Analysis* : fungsi ini terdiri dari sub-sub fungsi yang berhubungan dengan presentasi data spasial dalam ruang 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.
4. Keluaran data (data output)
- Keluaran data dari SIG adalah seperangkat prosedur untuk menampilkan informasi dari SIG dalam bentuk yang disesuaikan dengan keinginan pengguna (Aronoff, 1989).



Gambar 2.8 Subsistem-subsistem SIG

Sumber : Prahasta, 2001 : 59

Apabila subsistem-subsistem di atas diperinci berdasarkan uraian jenis masukan, proses, dan jenis keluaran yang ada didalamnya maka subsistem-subsistem SIG dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.9 Uraian subsistem-subsistem SIG

2.9.5 Pengolahan Data dengan SIG

2.9.5.1 Pemasukan Data

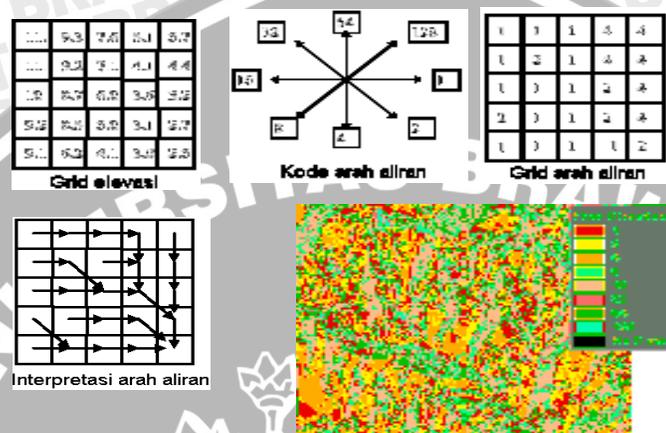
Pemasukan data dapat dilakukan dengan digitasi, digitasi adalah proses pengubahan data grafis analog menjadi data grafis digital, dalam struktur vektor. Hasil suatu proses digitasi adalah himpunan segmen maupun polygon. Pada peta garis setiap segmen sejenis diberi kode atau identitas yang sama. Manfaat utama penyimpanan informasi dalam bentuk kode dan ID ini adalah untuk pengaktifan kembali data secara selektif, untuk keperluan tertentu. Pada saat digitasi secara otomatis akan terbentuk suatu basis data pendamping yang berupa tabel yang menyertai peta digital tersebut. Tabel ini berisi informasi tentang urutan nama dan kode segmen dan poligon, berikut dengan ukuran matriknya (luas, keliling). Hal ini dimungkinkan karena sebelum memulai digitasi telah diberi informasi mengenai titik-titik kontrol peta tersebut.

2.9.5.2 Model Permukaan Digital (*Digital Terrain Model/DTM*)

Topografi berperan penting dalam respon hidrologi pada suatu DAS, agar mendapatkan prediksi yang akurat mengenai proses hidrologi pada suatu DAS maka perlu ketepatan dalam analisa keruangan pada DPS tersebut. *Digital Terrain Model (DTM)* atau juga biasa disebut sebagai *Digital Elevation Model (DEM)* adalah salah satu perkembangan SIG sebagai metode pendekatan yang dipakai untuk memodelkan topografi atau relief permukaan bumi dalam bentuk 3 (tiga) dimensi. Dari pemodelan 3 dimensi ini bisa digunakan untuk memodelkan suatu daerah aliran sungai sehingga akan membantu ketelitian dalam menentukan luas daerah tangkapan air, kemiringan lereng, panjang aliran

a). Penentuan arah aliran (Flow direction)

Zat cair secara alami akan mengalir dari elevasi yang lebih tinggi ke daerah yang elevasinya lebih rendah. Untuk menentukan arah aliran suatu sel dari DEM ditentukan dengan membandingkan elevasi sel tersebut dengan elevasi 8 (delapan) tetangganya yang bersebelahan. Maka aliran dari sel ini akan mengalir ke arah sel yang memiliki kemiringan relatif paling curam terhadap sel yang akan ditentukan arah alirannya. Dalam SIG, 8 (delapan) arah aliran yang mungkin akan dilewati oleh suatu sel dikodekan dengan angka-angka. 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 suatu sel setelah kemiringan relatif dari 8 sel sebelahnyanya dibandingkan adalah ke arah kiri (barat), maka arah aliran pada sel tersebut dikodekan dengan angka 16.



Gambar 2.11 Penentuan arah aliran pada grid DEM

Sumber : Tarboton, 2000

Namun pada kenyataannya terdapat beberapa sel yang tidak dapat didefinisikan arah alirannya karena elevasi delapan sel tetangganya lebih tinggi. Walaupun hal ini bisa saja terjadi secara alami pada permukaan bumi, namun dalam pengolahan DEM dapat dianggap sebagai suatu kesalahan yang disebut *sink* atau daerah yang mengalami depresi aliran. Air yang mengalir ke arah sel yang mengalami depresi aliran tidak akan bisa mengalir ke sel berikutnya sehingga menyebabkan jaringan aliran akan terputus dan menyebabkan genangan. Untuk mendapatkan suatu perhitungan yang akurat mengenai arah aliran dan akumulasi aliran, maka terlebih dahulu harus memperbaiki sel-sel yang mengalami depresi aliran dengan menaikkan elevasi sel tersebut sehingga terjadi kemiringan ke arah sel tetangganya. Besarnya kenaikan elevasi ini tergantung dari karakteristik permukaan yang terjadi. Untuk daerah yang bergelombang dengan resolusi 1 meter dapat dinaikan setinggi 0,1 m.

b). Akumulasi aliran (*Flow accumulation*)

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 per satu ke arah hilir berdasarkan grid arah aliran. Sel-sel dengan akumulasi aliran lebih besar (sel dengan akumulasi aliran 0 (tidak ada sel lain yang memberikan kontribusi aliran) merupakan daerah yang topografinya tinggi. Biasanya berupa punggung-punggung bukit yang selanjutnya diidentifikasi sebagai batas DPS. Sedangkan sel-sel dengan jumlah akumulasi aliran tinggi, biasanya mengidentifikasi saluran sungai.

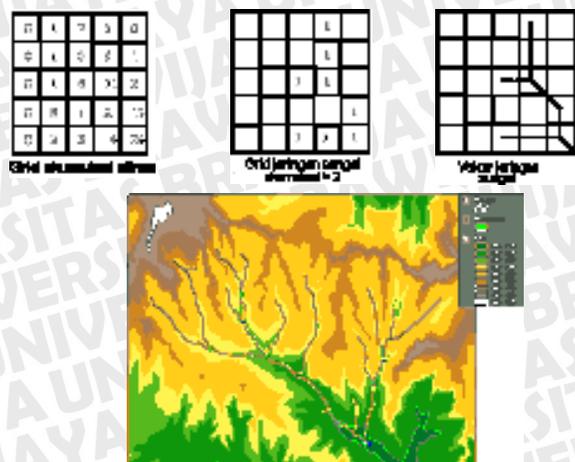


Gambar 2.12 Penentuan akumulasi aliran (*flow accumulation*)

Sumber : Tarboton, 2000

c). Pembangkitan jaringan sungai sintetik

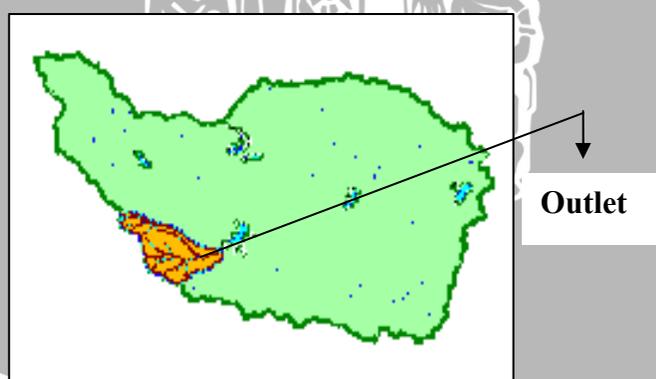
Jaringan sungai sintetik diperoleh dengan menentukan batas minimum jumlah kontribusi aliran yang diterima oleh suatu sel yang bisa dianggap sebagai awal dari saluran sungai. Selanjutnya jaringan sungai sintetik ini ditentukan dengan mengikuti grid arah aliran menuju sel yang memiliki akumulasi aliran yang paling tinggi, dengan memberikan nilai $value = 1$ (*true*) untuk sel-sel dengan nilai akumulasi aliran lebih dari batas minimum dan value NODATA (*false*), untuk sel-sel yang nilai akumulasi alirannya kurang dari batas minimum. Sel-sel yang memiliki $value = 1$ akan diekstrak dan dikonvert ke model data vektor berupa garis yang merepresentasikan sungai sintetik. 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, sungai-sungai kecil akan tereliminasi dan menjadi satu dengan sungai yang lebih besar daerah tangkapan airnya.



Gambar 2.13 Penentuan jaringan sungai
Sumber : Tarboton, 2000

d). Parameter Daerah Aliran Sungai

Daerah pengaliran sungai atau juga dikenal sebagai daerah tangkapan air merupakan daerah mana saja yang apabila terjadi hujan, akan memberikan kontribusi aliran pada titik outlet yang sama. Pada suatu DEM daerah tangkapan air dengan menentukan sel-sel mana saja yang memberikan kontribusi aliran pada suatu sel outlet yang ditentukan sebelumnya berdasarkan gid arah aliran. Sel-sel ini akan diidentifikasi dengan value yang sama, kemudian dipisahkan dan dikonvert dalam data vektor sebagai poligon luasan. Sel outlet ditentukan tergantung daerah mana yang menjadi objek studi atau juga dengan menambahkan *outlet* pada anak sungai berdasarkan jaringan sungai yang selanjutnya akan menjadi sub-DAS dari DAS utama. Setelah mendapatkan skema DAS/Sub-DAS, maka parameter tiap Sub-DAS bisa dikalkulasi menggunakan *GIS interface*. Adapun parameter-parameter yang bisa diperoleh dalam pemodelan ini adalah luasan DAS/Sub DAS, aliran terpanjang, panjang sungai, kemiringan rata-rata sungai, kemiringan lereng, dan kordinat pusat DAS.



Gambar 2.14 Contoh model DAS dari suatu DEM
Sumber : Tarboton, 2000

2.9.6 Istilah-Istilah dalam SIG

Istilah-istilah dalam SIG yang harus dimengerti agar lebih mudah dalam pemahaman dan melakukan pekerjaan, antara lain :

1. *Feature* : Informasi kenampakan geografis didalam peta dan disajikan secara grafik sebagai kumpulan komponen peta (titik, garis, dan luasan).
2. Topologi : Hubungan eksplisit antara *feature* geografi, yaitu menghubungkan atau menyambung (*connectivity*), hubungan saling (*contiguity*) dan definisi area (tata letak, batas, dan luasan).
3. Spasial : Tipe data apapun yang berdasarkan lokasi tertentu (koordinat).
4. Non-Spasial : Nilai/keterangan yang merupakan karakteristik dari spasial data.
5. *Coverage* : Istilah yang digunakan untuk menggambarkan *layer* dari informasi didalam SIG.
6. *Layer* : Sebutan *feature* obyek permukaan bumi yang tersimpan dalam basis data.
7. *Point* : Sajian lokasi yang menentukan obyek yang batas atau bentuknya terlalu kecil untuk ditunjukkan sebagai *feature* garis atau area.
8. Node : Titik perpotongan tempat bertemunya dua atau lebih garis (dapat berupa *dangle*).
9. *Line* : Kumpulan koordinat berurutan yang menyajikan bentuk linier (diawali node dan diakhiri node).
10. Poligon : Area yang ditentukan oleh deret koordinat x dan y tertutup.
11. Area : Luasan dari poligon yang terbentuk setelah *build* yang terdapat dalam basis data.
12. Perimeter : Keliling dari poligon yang terbentang setelah *build* pada basis data.
13. Sistem : Kumpulan atau penggabungan keseluruhan dari beberapa bagian untuk membentuk satu kesatuan.
14. Informasi : Data apapun yang dapat diberi kode untuk *processing* dengan komputer.
15. Geografi : Ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang perbedaan daerah diatas permukaan bumi ditunjukkan dengan karakteristik, dan interelasinya.