

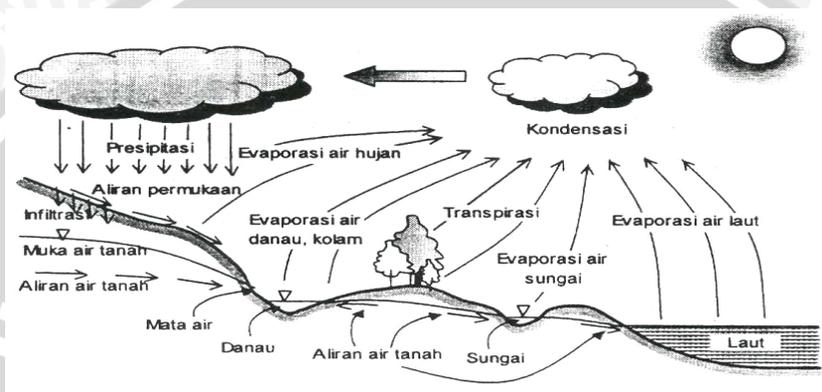
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Hidrologi dan Daerah Aliran Sungai (DAS)

2.1.1. Hidrologi

Dalam pendefinisian DAS pemahaman akan konsep daur hidrologi sangat diperlukan terutama untuk melihat masukan berupa curah hujan yang selanjutnya didistribusikan melalui beberapa cara seperti diperlihatkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Siklus hidrologi
(Sumber : Suripin, 2002:134)

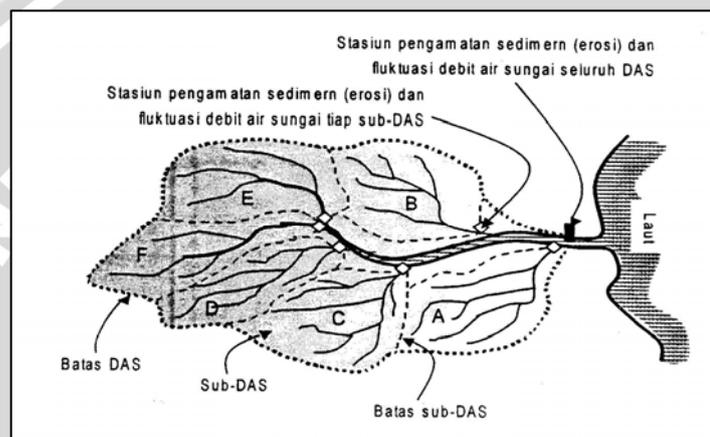
Siklus hidrologi adalah sirkulasi air yang tidak pernah berhenti dari atmosfer ke bumi dan kembali ke atmosfer melalui kondensasi, presipitasi, evaporasi dan transpirasi. Pemanasan air samudera oleh sinar matahari merupakan kunci proses siklus hidrologi tersebut dapat berjalan secara terus-menerus. Air berevaporasi, kemudian jatuh sebagai presipitasi dalam bentuk hujan, salju, hujan batu, hujan es dan salju (*sleet*), hujan gerimis atau kabut.

Air permukaan, baik yang mengalir maupun yang tergenang (danau, waduk, dan rawa), serta sebagian air bawah permukaan akan terkumpul dan mengalir membentuk sungai. Proses perjalanan air di daratan itu terjadi dalam komponen-komponen siklus hidrologi yang membentuk sistem Daerah Aliran Sungai (DAS).

2.1.2. Definisi Daerah Aliran Sungai

Konsep dasar aliran sungai atau sering disingkat dengan DAS merupakan dasar dari semua perencanaan hidrologi, mengingat DAS yang besar pada dasarnya tersusun dari DAS-DAS kecil, dan DAS kecil ini juga tersusun dari DAS-DAS yang lebih kecil lagi. Menurut UU No. 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air, definisi daerah aliran sungai adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan

anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan. Sedangkan menurut Suripin (2002:183) DAS dapat didefinisikan sebagai suatu wilayah yang dibatasi oleh batas alam, seperti punggung bukit-bukit atau gunung, maupun batas buatan, seperti jalan atau tanggul, dimana air hujan yang turun di wilayah tersebut memberi kontribusi aliran ke titik kontrol (Suripin, 2002:183). Pada Gambar 2.2 berikut ini diperlihatkan sebuah Daerah Aliran Sungai (DAS) pada umumnya.



Gambar 2.2. Gambaran sebuah Daerah Aliran Sungai (DAS)

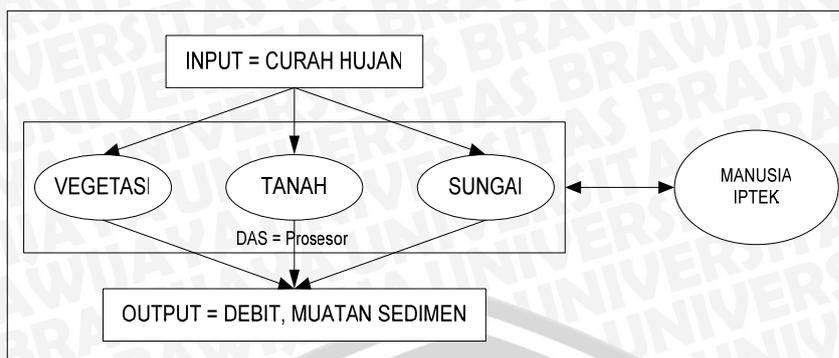
Sumber : Suripin, 2002:185

Dari definisi di atas, dapat dikemukakan bahwa DAS merupakan ekosistem, dimana unsur organisme dan lingkungan biofisik serta unsur kimia berinteraksi dan di dalamnya terdapat keseimbangan *inflow* dan *outflow* dari material dan energi.

2.1.3. Ekosistem Daerah Aliran Sungai (DAS)

Ekosistem adalah suatu sistem ekologi yang terdiri atas komponen-komponen yang saling berintegrasi sehingga membentuk suatu kesatuan. Daerah aliran sungai dapatlah dipandang sebagai suatu ekosistem dimana terdapat keterkaitan baik secara langsung ataupun tidak langsung antara komponen-komponen penyusun DAS.

Sebagai suatu ekosistem, maka setiap ada masukan (*input*) ke dalamnya, proses yang terjadi di dalamnya dapat dievaluasi berdasarkan keluaran (*output*) dari ekosistem tersebut. Komponen masukan dalam ekosistem DAS adalah curah hujan, sedangkan keluarannya terdiri dari debit air dan muatan sedimen. Komponen-komponen DAS yang berupa vegetasi, tanah dan saluran/sungai dalam hal ini bertindak sebagai *processor*. Pada Gambar 2.3 menunjukkan proses yang terjadi dalam suatu ekosistem DAS yang dipengaruhi curah hujan, jenis tanah, kemiringan, vegetasi, dan aktivitas manusia.



Gambar 2.3. Fungsi Ekosistem DAS
(Sumber : Asdak, 2002: 18)

Dalam mempelajari ekosistem DAS, dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- DAS bagian hulu didasarkan pada fungsi konservasi yang dikelola untuk mempertahankan kondisi lingkungan DAS agar tidak terdegradasi, yang antara lain dapat diindikasikan dari kondisi tutupan vegetasi lahan DAS, kualitas air, kemampuan menyimpan air (debit), dan curah hujan.
- DAS bagian tengah didasarkan pada fungsi pemanfaatan air sungai yang dikelola untuk dapat memberikan manfaat bagi kepentingan sosial dan ekonomi, yang antara lain dapat diindikasikan dari kuantitas air, kualitas air, kemampuan menyalurkan air, dan ketinggian muka air tanah, serta terkait pada prasarana pengairan seperti pengelolaan sungai, waduk, dan danau.
- DAS bagian hilir didasarkan pada fungsi pemanfaatan air sungai untuk dapat memberikan manfaat bagi kepentingan sosial dan ekonomi, yang diindikasikan dengan kuantitas dan kualitas air, kemampuan menyalurkan air, ketinggian curah hujan, dan terkait kebutuhan pertanian, air bersih, serta pengelolaan air limbah.

2.2. Analisa Hidrologi

Analisa hidrologi pada dasarnya merupakan proses pengolahan data curah hujan, data luas dan bentuk daerah pengaliran (*catchment area*), data kemiringan lahan atau beda tinggi, dan data tata guna lahan yang kesemuanya memiliki arahan untuk mengetahui besarnya curah hujan maksimum, koefisien pengaliran, waktu konsentrasi, intensitas curah hujan, dan debit banjir rencana.

2.2.1. Uji Homogenitas Data

Sebelum dilakukan perhitungan dan analisis perlu dipastikan tentang keandalan dan kesamaan jenis data (*homogeneity*). Untuk itu dilakukan pengujian secara statistik untuk memastikan ketepatannya agar hasil perhitungan itu dapat digunakan untuk proses lebih lanjut.

Analisa frekwensi data hidrologi menurut syarat tertentu untuk data yang bersangkutan, yaitu (Sri Harto, 1993: 244):

1. Harus seragam (*homogeneous*), yang berarti data tersebut berasal dari populasi yang sama. Dalam arti lain, stasiun data yang bersangkutan harus tidak dipindah, DAS tidak berubah menjadi DAS perkotaan, maupun tidak ada gangguan-gangguan lain.
2. *Independent*, yang berarti bahwa sebaran data ekstrim tidak pernah terjadi lebih dari satu kali.
3. Mewakili (*representative*), yang berarti bahwa data harus mewakili perkiraan kejadian yang akan datang.

Uji T termasuk jenis uji untuk sampel kecil. Sampel kecil adalah dimana ukuran sampel $n < 30$. Untuk mengetahui apakah 2 sampel x_1 dan x_2 berasal dari populasi yang sama, maka dihitung t_{score} dengan rumus :

$$t = \frac{[\bar{x}_1 - \bar{x}_2]}{\sigma \cdot \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} \quad (2-1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(N_1 - 1) \cdot s_1^2 + (N_2 - 1) \cdot s_2^2}{N_1 + N_2 - 2}} \quad (2-2)$$

dengan:

\bar{x}_1 = rerata dari sampel x_1

\bar{x}_2 = rerata dari sampel x_2

s_1 = simpangan baku dari sampel x_1

s_2 = simpangan baku dari sampel x_2

N_1 = ukuran dari sampel x_1

N_2 = ukuran dari sampel x_2

Hipotesa :

H_0 = sampel x_1 dan x_2 berasal dari populasi yang sama

H_1 = sampel x_1 dan x_2 tidak berasal dari populasi yang sama

Harga t_{tabel} dicari pada tabel *distribusi* untuk derajat bebas $\nu = N_1 + N_2 - 2$ dan $\alpha = (\text{Level of Significance})$ misal 5%. Apabila $t_{score} < t_{tabel}$, maka H_0 diterima, dan jika sebaliknya maka H_0 ditolak.

Setelah ditentukan letak stasiun yang berpengaruh terhadap lokasi studi, maka perlu dilakukan uji homogenitas data hujan stasiun tersebut. Dengan demikian dapat ditentukan nilai rerata curah hujannya.

2.2.2. Curah Hujan Rerata Daerah (*areal rainfall*)

Curah hujan daerah adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang ditinjau, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu yang dinyatakan dalam mm (Sosrodarsono 2003:27). Untuk menentukan besar curah hujan rata-rata daerah ada 3 metode 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) :

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n} \quad (2-3)$$

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

2. Metode poligon Thiessen

Adapun langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Stasiun-stasiun penakar hujan digambar pada peta daerah studi.
2. Stasiun hujan yang terdekat dihubungkan sehingga terbentuk jaringan segitiga.
3. Dari setiap sisi segitiga ditarik garis bagi tegak lurus membentuk poligon-poligon.
4. Daerah pengaruh hujan masing-masing stasiun dibatasi oleh sisi-sisi setiap poligon.
5. Luas masing-masing poligon dihitung, sehingga didapat luas daerah pengaruh tiap-tiap stasiun hujan.
6. Persentase luas didapat dari hasil pembagian luas daerah tiap-tiap stasiun hujan dengan luas seluruh daerah aliran.
7. Curah hujan rata-rata untuk seluruh daerah didapat dari hasil perkalian persentase luas total dengan curah hujan tiap stasiun penakar hujan.

$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2-4)$$

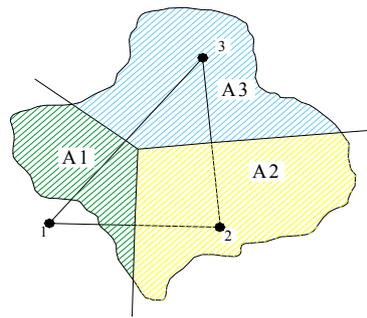
dengan :

R = curah hujan rerata daerah (mm)

R_1, R_2, \dots, R_n = curah hujan di tiap titik pengamatan (mm)

A_1, A_2, \dots, A_n = luas daerah pengaruh (km²)

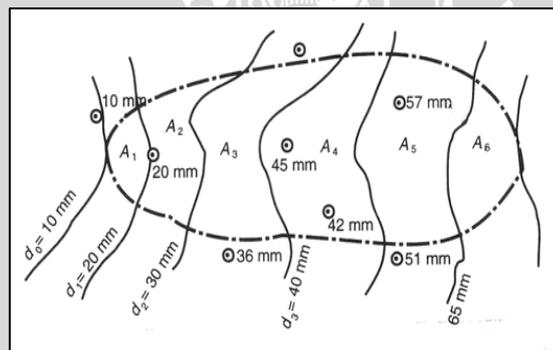
$\frac{A_1}{A}, \frac{A_2}{A}, \dots, \frac{A_n}{A}$ = persentase luas daerah (%)



Gambar 2.4. Poligon Thiessen
(Sumber Sosrodarsono, 1977: 27)

3. Metode garis isohyet

Dengan cara ini, maka harus digambar dulu kontur dengan tinggi hujan yang sama (*isohyet*), seperti pada gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5. 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 :

$$d = \frac{\frac{d_0 + d_1}{2} A_1 + \frac{d_1 + d_2}{2} A_2 + \dots + \frac{d_{n-1} + d_n}{2} A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2-5)$$

dengan :

- A = luas areal total
- d = tinggi hujan rata-rata areal
- d_0, d_1, \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*

Menurut Suyono Sosrodarsono (2003:51), untuk menentukan metode curah hujan daerah yang sesuai adalah menggunakan standar luas daerah, sebagai berikut :

1. 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 dua atau tiga 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 tidak tersebar 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*).

Tabel 2.1 Pemilihan Metode Penentuan Curah Hujan

a) Berdasarkan Jumlah Pos Penakar Hujan	
Jumlah Pos Penakar Hujan	Metode
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cukup ▪ Terbatas ▪ Tunggal 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Isohyet, Poly. Thiessen, Rerata Hitung ▪ Polygon Thiessen, Rerata Hitung ▪ Hujan Titik
b) Berdasarkan Luas DAS	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ DAS besar (>5000 km²) ▪ DAS sedang (500-5000 km²) ▪ DAS kecil (<500 km²) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Isohyet ▪ Polygon Thiessen ▪ Rata-rata Hitung
c) Berdasarkan Topografi DAS	
Topografi	Metode
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pegunungan ▪ Dataran ▪ Berbukit dan tidak beraturan 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rata-rata Hitung ▪ Polygon Thiessen ▪ Isohyet

(Sumber : Soemarto, 1999)

Dari Tabel 2.1 diatas, terlihat bahwa metode Rerata Hitung adalah metode yang sesuai untuk menentukan curah hujan rerata daerah pada MDM Berek Kisi. Tetapi pada studi kali ini metode perhitungan yang digunakan adalah *Poligon Thiessen* dimana hasil perhitungannya memiliki ketelitian yang lebih tinggi dari pada metode yang lain. Metode ini digunakan untuk menentukan luas daerah pengaruh stasiun hujan tertentu.

2.2.3. Analisa Curah Hujan Rancangan

Dalam perencanaan ini hujan rancangan dipilih cara Log Pearson III (CD. Soemarto,1995:125) dengan pertimbangan bahwa cara ini lebih fleksibel dan dapat dipakai untuk semua sebaran data. Tahapan untuk menghitung hujan rancangan maksimum dengan metode Log Pearson III adalah sebagai berikut:

1. Hujan bulanan maksimum diubah dalam bentuk logaritma.
2. Menghitung harga logaritma rata-rata dengan rumus :

$$\overline{\text{Log}X} = \frac{\sum \text{Log}Xi}{n} \quad (2-6)$$

3. Menghitung harga simpangan baku dengan rumus :

$$Sd = \frac{\sum (\text{Log}Xi - \overline{\text{Log}X})^2}{n-1} \quad (2-7)$$

4. Menghitung harga koefisien kemencengan dengan rumus :

$$Cs = \frac{n \sum (\text{Log}xi - \text{Log}x)^3}{(n-1).(n-2)Sd^3} \quad (2-8)$$

5. Menghitung logaritma hujan rancangan kala ulang tertentu dengan rumus :

$$\text{Log}X = \overline{\text{Log}X} + G.Sd \quad (2-9)$$

Dimana :

$\text{Log} x$ = Logaritma curah hujan rancangan.

$\overline{\text{Log}x}$ = Logaritma rerata curah hujan.

G = Konstanta (dari tabel)

Sd = Standar deviasi.

2.2.4. Uji Kesesuaian Distribusi

Uji kesesuaian distribusi dimaksudkan untuk mengetahui apakah distribusi yang dipilih dapat digunakan atau tidak untuk serangkaian data yang tersedia. Dalam studi ini, untuk keperluan analisis uji kesesuaian distribusi digunakan dua metode statistik, yaitu Uji Chi Square dan Uji Smirnov Kolmogorov.

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 . Parameter χ^2 dapat dihitung dengan rumus (Soewarno, 1995:194):

$$\chi_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2-10)$$

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 subgrup minimal empat data
3. Jumlahkan data pengamatan sebesar O_i tiap-tiap subgrup
4. Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_i
5. Tiap-tiap subgrup hitung nilai :

$$(O_i - E_i)^2 \text{ dan } \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

6. Jumlah seluruh G sub grup nilai $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ menentukan nilai *Chi Square* hitung

7. Tentukan derajat kebebasan $dk = G - R - 1$

8. Menentukan χ^2 dari tabel dengan menentukan derajat kepercayaan (α) dan derajat kebebasan (dk)

9. Menyimpulkan hasil perhitungan, apabila $\chi^2_{\text{hit}} < \chi^2_{\text{cr}}$ maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima, dan apabila nilai $\chi^2_{\text{hit}} > \chi^2_{\text{cr}}$ 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 (Soetopo, 1998: 25):

1. Data diurutkan dari kecil ke besar
2. Menghitung peluang empiris (S_n) dengan rumus Weibull

$$S_n = \frac{m}{n + 1} \quad (2-11)$$

dengan:

$S_n(x)$ = posisi data x menurut data pengamatan

m = nomor urut data

n = banyaknya data

3. Menghitung peluang teoritis (P_t) dengan rumus:

$$P_t = 1 - Pr \quad (2-12)$$

dengan:

Pr = probabilitas yang terjadi

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

$$\Delta_{maks} = |Px(x) - Sn(x)| \quad (2-13)$$

5. Menentukan nilai Δ_{cr}
6. Menyimpulkan hasil perhitungan, yaitu apabila $\Delta < \Delta_{cr}$ maka distribusi terpenuhi dan apabila $\Delta > \Delta_{cr}$ maka distribusi tidak terpenuhi.

2.3. Debit Banjir Rancangan Metode Rasional Modifikasi

Metode rasional adalah metode untuk menghitung debit banjir maksimum dari curah hujan. Metode ini dapat menggambarkan hubungan antara debit limpasan dengan besar curah hujan secara praktis berlaku untuk luas sub DAS hingga 300 ha. Metode rasional ini menggunakan asumsi:

1. Frekuensi hujan dan limpasan sama.
2. Intensitas hujan dengan durasi minimum sama dengan waktu konsentrasi daerah aliran.
3. Intensitas hujan seragam diseluruh daerah aliran.
4. Durasi hujan lebat sama dengan waktu konsentrasi, seluruh daerah aliran berpengaruh secara simultan terhadap debit di saluran keluar.

Dua komponen utama yang digunakan pada metode rasional ialah waktu konsentrasi (T_c) dan intensitas curah hujan (I). Metode rasional modifikasi yang merupakan pengembangan dari metode rasional untuk intensitas curah hujan yang lebih lama dari waktu konsentrasi. Metode ini telah dikembangkan sehingga konsep metode rasional ini dapat menghasilkan hidrograf untuk memperhitungkan koefisien limpasan, koefisien tampungan, intensitas hujan dan luas daerah aliran dalam menghitung debit limpasan. Rumus yang digunakan adalah:

$$Q = 0,00278 \cdot Cs \cdot C.I.A \quad (2-14)$$

Dengan :

- Q = Debit puncak (m^3/dt)
- I = Intensitas hujan rata-rata (mm/jam)
- A = Daerah tangkapan (ha)
- C = Koefisien pengaliran
- Cs = Koefisien tampungan

▪ **Intensitas Hujan/Rainfall Intensity**

Besarnya curah hujan adalah volume air yang jatuh pada suatu areal tertentu. Oleh karena itu besarnya curah hujan dapat dinyatakan dalam meter kubik persatuan luas atau secara lebih umum dinyatakan dalam tinggi air yaitu milimeter (mm). Intensitas curah hujan (I) menyatakan besarnya curah hujan dalam periode tertentu yang dinyatakan dalam satuan mm/jam.

Pada umumnya, semakin besar t (waktu mulai hujan sampai jam ke T) intensitas hujannya semakin kecil. Jika tidak ada waktu untuk mengamati besarnya intensitas hujan atau karena disebabkan tidak adanya alat untuk mengamati, maka untuk menghitung intensitas hujan dapat ditempuh dengan rumus empiris. Pada Studi ini rumus empiris yang digunakan adalah rumus mononobe, karena dapat digunakan untuk waktu t sembarang (Soemarto CD, 1995:14):

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T_c} \right)^{2/3} \quad (2-15)$$

Dengan :

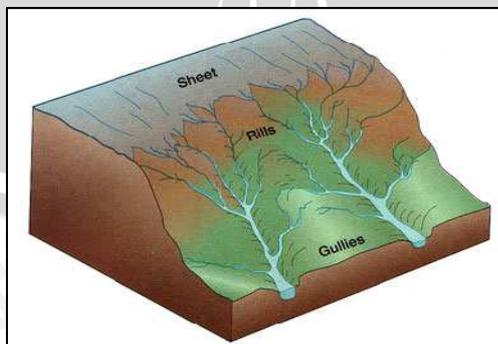
I = Intensitas curah hujan rerata dalam T jam (mm/jam)

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

T = Waktu curah hujan (jam)

▪ **Koefisien Pengaliran**

Koefisien pengaliran adalah perbandingan antara jumlah air yang mengalir di suatu daerah akibat turunnya hujan dengan jumlah hujan yang turun di daerah tersebut. Besarnya koefisien pengaliran antara lain dipengaruhi oleh (Subarkah, 1980:51): kemiringan tanah, jenis permukaan tanah yang dilalui air hujan, Iklim dan faktor-faktor meteorologi.



Gambar 2.6 Kemiringan dan jenis permukaan tanah sebagai penentu koefisien pengaliran

Harga koefisien pengaliran (C) berbagai kondisi permukaan tanah ditentukan Tabel 2.2

Tabel 2.2. Koefisien pengaliran (C), untuk persamaan Rasional (U.S. Forest Service, 1980)

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 tinggal	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 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) :

$$C_m = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + \dots + C_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2-16)$$

$$C_m = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2-17)$$

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. C adalah variabel yang paling sulit diperkirakan dengan tepat, harga ini diambil pada perencanaan yang didasarkan pada perkembangan tata guna lahan tanah terakhir.

▪ **Waktu Konsentrasi (Tc)**

Waktu konsentrasi (*time of concentration*) adalah waktu perjalanan yang dibutuhkan oleh air dari tempat yang paling jauh (hulu sub DAS) sampai ke *outlet* sungai dari sub DAS tersebut. Hal ini terjadi karena tanah sepanjang kedua titik tersebut telah jenuh dan semua cekungan bumi lainnya terisi air hujan. Diasumsikan bahwa bila lama waktu hujan sama dengan waktu konsentrasi berarti seluruh bagian DAS tersebut telah ikut berperan untuk terjadinya aliran air (debit) yang sampai ketitik pengamatan (Asdak, 2002:166). Untuk menghitung waktu konsentrasi ada bermacam-macam formula seperti persamaan Bransby-Williams yang telah disempurnakan oleh (McDermott et al., 1982:23 dalam Hakim, 2004:13):

$$t_c = 0,76 A^{0,38} \quad (2-18)$$

dengan:

t_c = waktu konsentrasi (jam)

A = luas daerah pengaliran (km^2)

Selain menggunakan persamaan diatas waktu konsentrasi juga dapat dihitung dengan menjumlahkan lamanya waktu yang dilalui oleh air hujan yang jatuh pada suatu titik kemudian mengalir di lahan sampai ke sungai dan akhirnya mengalir dari sungai sampai ke *outlet* sungai dari sub DAS tersebut, dengan persamaan :

$$T_c = T_o + T_d \quad (2-19)$$

Dimana:

T_c = waktu konsentrasi di sub DAS (jam)

T_o = waktu konsentrasi untuk aliran di lahan (jam) *Overland flow time*/Waktu aliran air permukaan (*runoff*) untuk mengalir melalui permukaan tanah ke saluran/sungai terdekat. Nilai dari T_o didapat dari gambar 2.7, dengan data-data yang diperlukan yaitu panjang aliran yang akan ditempuh, kemiringan lereng rata-rata, dan koefisien pengaliran.

Bilamana slope lahan lebih dari 15%, dan panjang lereng lebih dari 1000ft, maka dapat dihitung dengan rumus (Suripin, 2004:82)

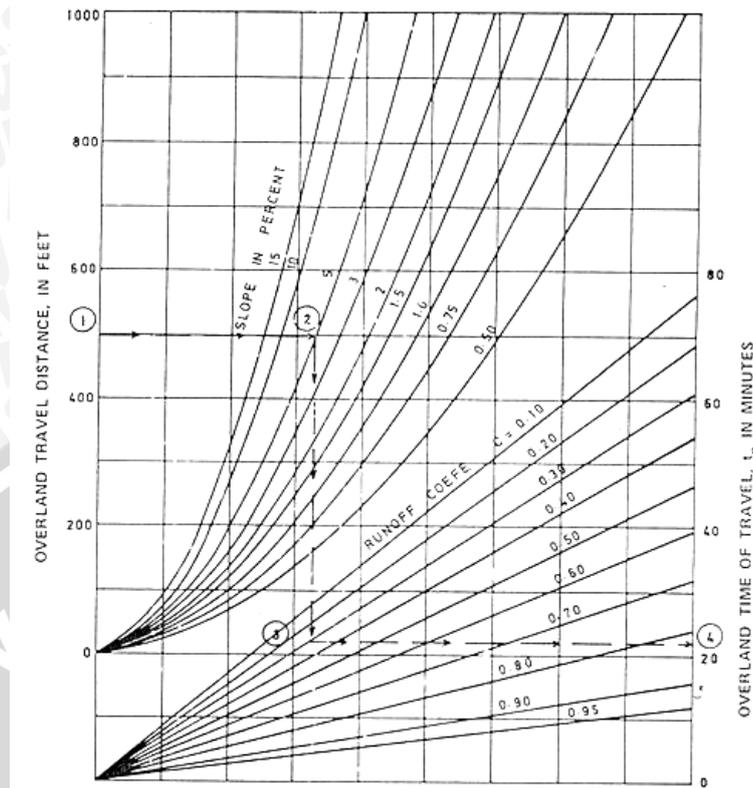
$$T_o = \left[\frac{2}{3} \times 3.28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{S}} \right] \quad (2-20)$$

Dimana:

L : panjang lintasan aliran diatas permukaan lahan,

n : angka kekasaran Manning

S : kemiringan lahan.



Gambar 2.7. Overland time of flow nomograph (To)

Sumber: Asdak, 2001; 169

T_d = waktu konsentrasi untuk aliran di sungai (jam).

= Drain flow time/Waktu aliran dimana air jatuh pada titik awal ke outlet pengamatan. T_d dapat diperkirakan dari kondisi hidrolik pada saluran. Jika aliran dimana parameter-parameter hidroliknya sulit ditentukan maka T_d dapat diperkirakan dengan menggunakan kecepatan aliran, dimana persamaannya adalah:

$$T_d = \frac{L}{V} \tag{2-21}$$

Dimana:

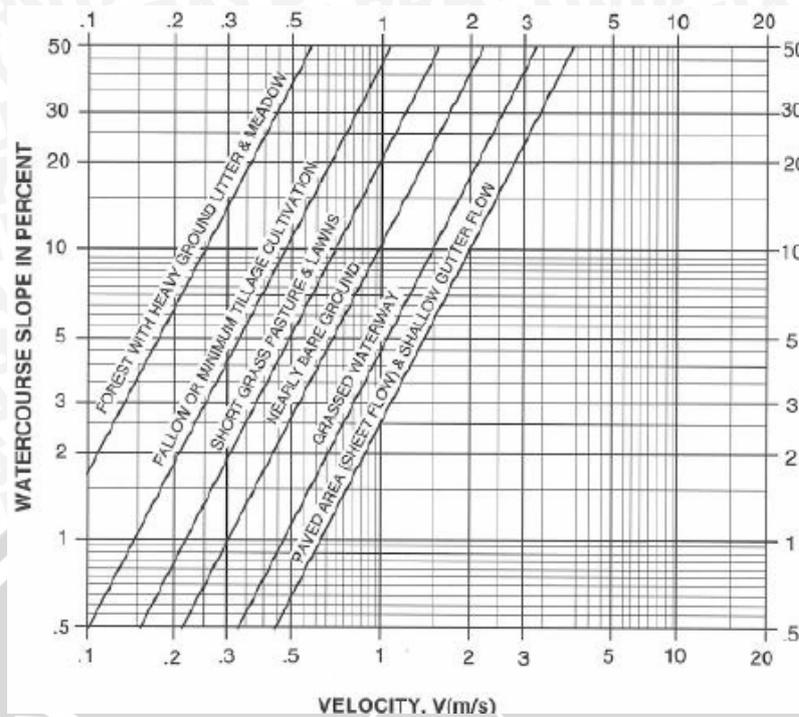
L : Panjang pengaliran (m)

V : Kecepatan aliran (m/dt),

Nilai V dapat diperkirakan dengan Gambar 2.8, atau menggunakan rumus (Anonim dalam Highway Desain Manual; 2001) :

$$V = 4.918 \cdot S^{1/2} \tag{2-22}$$

Dimana: S : slope aliran sungai dalam m/m



Gambar 2.8. Kecepatan Aliran Permukaan untuk menduga T_o
 Sumber : Anonim, 2001: 810-9

- Koefisien Tampung (Cs)

Koefisien tampung sebagai salah satu faktor yang diperhitungkan dalam metode Rasional Modifikasi dirumuskan sebagai berikut :

$$C_s = \frac{2t_{conc}}{2t_{conc} + t_{ch}} \tag{2-23}$$

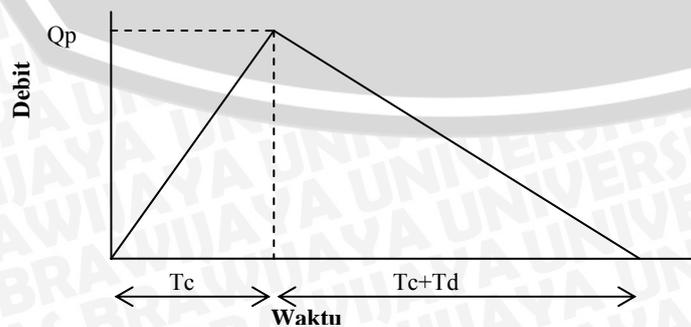
dengan :

t_{conc} atau T_c = waktu konsentrasi (jam)

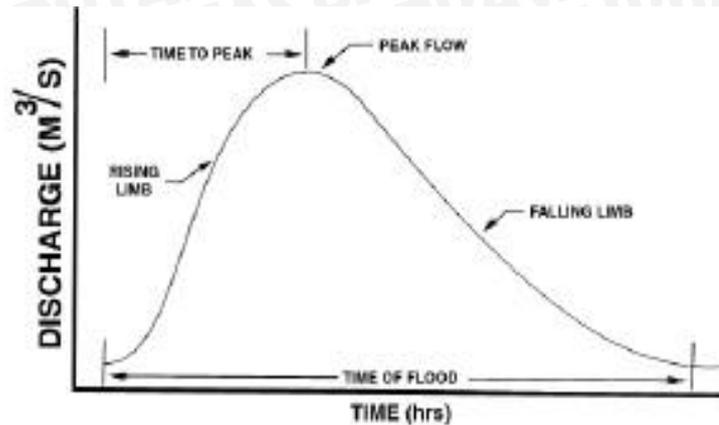
t_{ch} atau T_d = waktu konsentrasi untuk aliran di sungai (jam)

- **Desain Hidrograf**

Metode Rasional modifikasi ini diaplikasikan untuk menampilkan hidrograf. Bentuk dari hidrograf ditunjukkan oleh gambar 2.9 dibawah ini :



Gambar 2.9. Desain I Hidrograf Metode Rasional Modifikasi



Gambar 2.10. Desain II Hidrograf Metode Rasional Modifikasi

2.4. Erosi

Erosi tanah adalah proses atau peristiwa hilangnya lapisan permukaan tanah atas, baik disebabkan oleh pergerakan air maupun angin (Suripin, 2002:11). Sedangkan menurut Arsyad (2000:30) erosi adalah peristiwa pindahnya atau terangkutnya tanah atau bagian-bagian tanah dari suatu tempat ke tempat lain oleh media alami.

2.4.1. Proses Terjadinya Erosi

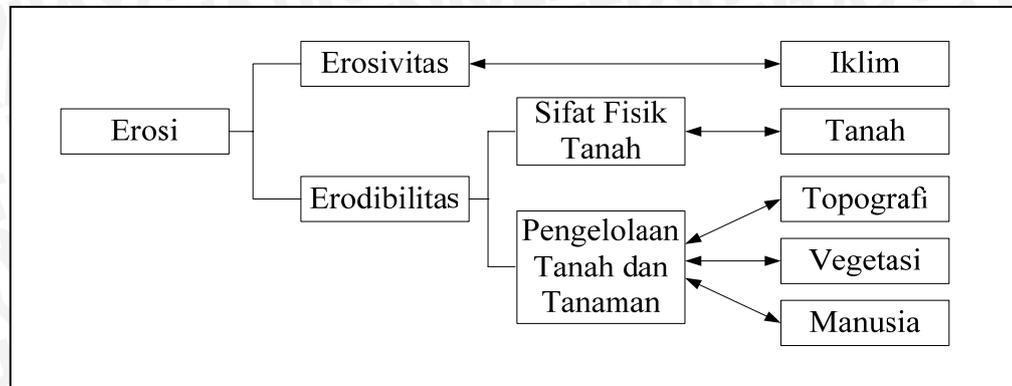
Menurut Utomo (1994:19), proses erosi bermula dengan terjadinya penghancuran agregat-agregat tanah sebagai akibat pukulan air hujan yang mempunyai energi lebih besar daripada daya tahan tanah. Hancuran tanah ini akan menyumbat pori-pori tanah, maka kapasitas infiltrasi tanah akan menurun dan mengakibatkan air mengalir di permukaan tanah dan disebut sebagai limpasan permukaan.

Limpasan permukaan mempunyai energi untuk mengikis dan mengangkat partikel-partikel tanah yang telah dihancurkan. Selanjutnya jika tenaga limpasan permukaan sudah tidak mampu lagi mengangkat bahan-bahan hancuran tersebut, maka bahan-bahan ini akan diendapkan.

Dengan demikian ada tiga proses yang bekerja secara berurutan dalam proses erosi yaitu diawali dengan penghancuran agregat-agregat, pengangkutan dan diakhiri dengan pengendapan. Dengan demikian 3 bagian yang berurutan, yaitu :

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

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 2.11. Hubungan Klasifikasi faktor-faktor penyebab erosi menurut USDA Dan Hudson-Soil Conservation-1976 (Kartasapoetra, 1985:41)

2.4.2. Klasifikasi Erosi

Proses pengikisan kulit bumi secara alamiah disebut dengan erosi alam atau erosi geologi. Akibat dari erosi geologi ini tidak perlu dikhawatirkan karena terjadi dengan laju yang lambat yang memungkinkan terbentuknya tanah yang tebal yang mampu mendukung pertumbuhan vegetasi secara normal (Arsyad, 1989:30).

Sedangkan erosi dipercepat (*accelerated erosion*) merupakan suatu proses erosi yang berlangsung lebih cepat dibanding erosi geologi akibat rangsangan sejumlah kegiatan manusia, misal akibat usaha pertanian yang kurang memperhatikan masalah konservasi lahan.

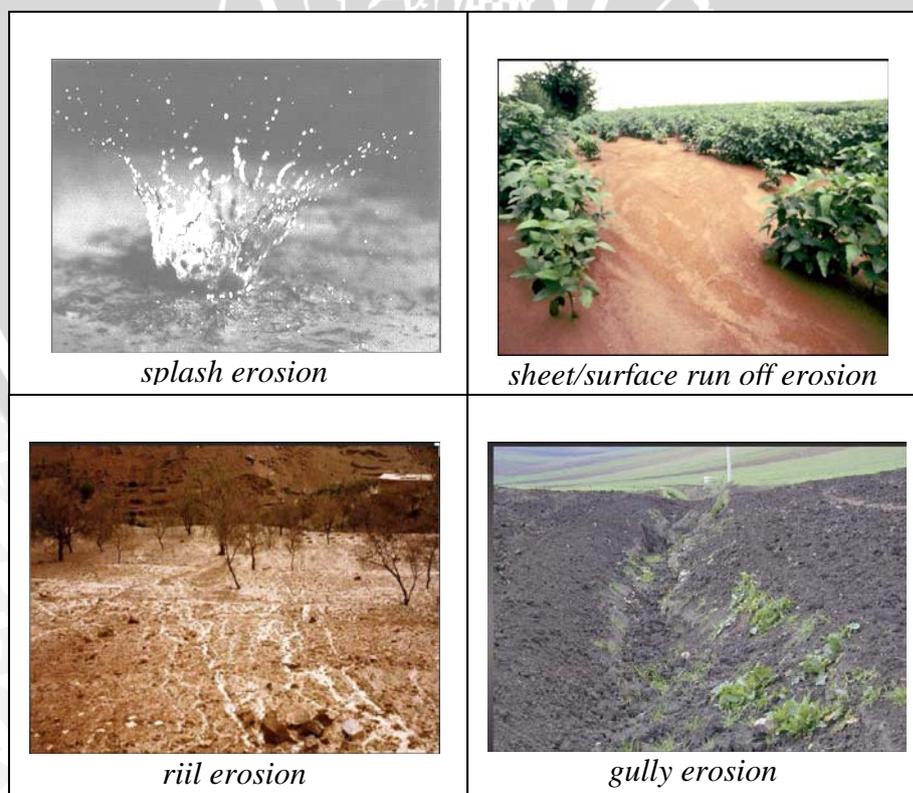
Pakar konservasi tanah pada mulanya mengklasifikasikan erosi berdasarkan bentuknya, yaitu :

- a) Erosi Lembar (*sheet erosion*);
- b) Erosi Alur (*riil erosion*);
- c) Erosi Selokan (*gully erosion*).

Klasifikasi tersebut di atas sekarang dirasa kurang sesuai, karena tidak memperhitungkan kekurangan agregat yang terjadi karena pukulan air hujan. Pukulan air hujan merupakan fase pertama dan terpenting dari erosi (Hudson, 1976). Lebih lanjut sebenarnya hampir tidak ada kenyataan yang menunjukkan bahwa limpasan permukaan mempunyai kedalaman dan kekuatan sama pada semua tempat, sehingga mengikis

permukaan bumi secara merata (*sheet*). Beberapa tipe erosi permukaan yang umum dijumpai di daerah tropis adalah sebagai berikut (Asdak, 2001 : 339) :

- 1) Erosi percikan (*splash erosion*) adalah proses terkelupasnya partikel-partikel tanah bagian atas oleh tenaga kinetik air hujan bebas atau sebagai air lolos.
- 2) Erosi kulit (*sheet erosion*) adalah erosi ketika lapisan tipis permukaan tanah di daerah berlereng terkikis oleh kombinasi air hujan dan air limpasan (*run off*).
- 3) Erosi alur (*riil erosion*) adalah pengelupasan yang diikuti pengangkutan partikel-partikel tanah oleh aliran air larian yang terkonsentrasi di dalam saluran-saluran air.
- 4) Erosi parit (*gully erosion*), membentuk jajaran parit yang lebih dalam dan lebar dan merupakan tingkat lanjutan dari erosi alur. Erosi parit dibedakan menjadi dua berdasarkan bentuk penampang melintangnya, yaitu parit bentuk V dan parit bentuk U. Erosi parit bentuk V terjadi pada tanah yang relatif dangkal dengan tingkat erodibilitas (tingkat kerapuhan tanah) seragam. Erosi parit bentuk U umum terjadi pada tanah dengan erodibilitas rendah.
- 5) Erosi tebing sungai (*streambank erosion*) adalah pengikisan tanah pada tebing-tebing sungai dan penggerusan dasar sungai oleh aliran air sungai. Dua proses berlangsungnya erosi tebing sungai adalah oleh adanya gerusan aliran sungai dan oleh adanya longsoran tanah pada tebing sungai.



Gambar 2.12 Macam-macam bentuk erosi

2.4.3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Erosi

Erosi terjadi melalui proses penghancuran/pengikisan, pengangkutan dan pengendapan. Dengan demikian intensitas erosi ditentukan oleh faktor-faktor yang mempengaruhi ketiga proses tersebut. Hudson (1976) 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 sederhana 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. Secara garis besar faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya laju erosi adalah: (Suripin, 2002:41)

a. Iklim

Faktor iklim yang besar pengaruhnya terhadap erosi tanah adalah hujan, temperatur, dan suhu. Diantara faktor-faktor tersebut yang paling berpengaruh adalah hujan. Hujan memainkan peranan dalam erosi tanah melalui tenaga pelepasan dari pukulan butir-butir hujan pada permukaan tanah dan sebagian melalui kontribusinya terhadap aliran.

b. Tanah

Sifat-sifat fisik tanah menentukan besar kecilnya indeks erodibilitas tanah. yang menunjukkan tingkat kepekaan tanah untuk tererosi. Dalam kaitannya dengan konservasi tanah dan air, sifat fisik tanah yang berpengaruh meliputi : tekstur, struktur, infiltrasi, dan kandungan bahan organik.

c. Topografi

Faktor topografi dinyatakan dalam kemiringan dan panjang lereng. Kombinasi variabel ini menyebabkan laju erosi tanah tidak proporsional tetapi meningkat.

d. Vegetasi

Vegetasi mempunyai pengaruh yang bersifat melawan terhadap faktor-faktor lain yang erosif seperti hujan, topografi, dan karakteristik tanah. Vegetasi atau tanaman memiliki sifat pelindung tanah dari pukulan butir-butir hujan dan dapat memperbaiki struktur tanah dengan bantuan akar-akarnya.

e. Kegiatan manusia

Kegiatan manusia dikenal sebagai salah satu faktor paling penting terhadap terjadinya erosi tanah yang cepat dan intensif. Kegiatan tersebut kebanyakan berkaitan dengan perubahan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap erosi, misalnya perubahan penutup tanah akibat penggundulan hutan untuk pemukiman, lahan pertanian dsb.

2.4.4. Dampak Umum Terjadinya Erosi

Erosi menyebabkan hilangnya lapisan atas tanah yang subur dan baik untuk pertumbuhan tanaman serta berkurangnya kemampuan tanah untuk menyerap dan menahan air. Tanah yang terangkut tersebut akan diendapkan di dalam sungai, waduk, danau, saluran irigasi, di atas tanah pertanian, dan sebagainya. Secara rinci dampak erosi disajikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Dampak Erosi Tanah

Bentuk Dampak	Dampak di Tempat Kejadian Erosi	Dampak di Luar Tempat Kejadian
Langsung	<ul style="list-style-type: none"> – Kehilangan lapisan tanah yang baik bagi berjangkarnya akar tanaman – Kehilangan unsur hara dan kerusakan struktur tanah – Peningkatan penggunaan energi untuk produksi – Kemerosotan produktivitas tanah atau bahkan menjadi tidak dapat dipergunakan untuk berproduksi – Kerusakan bangunan konservasi dan bangunan lainnya – Pemiskinan petani penggarap/pemilik tanah 	<ul style="list-style-type: none"> – Pelumpuran dan pendangkalan waduk, sungai, saluran, dan badan air lainnya – Timbulnya lahan pertanian, jalan dan bangunan lainnya – Menghilangnya mata air dan memburuknya kualitas air – Kerusakan ekosistem perairan (tempat bertelur ikan, terumbu karang, dsb) – Kehilangan nyawa dan harta oleh banjir – Meningkatnya frekuensi dan masa kekeringan
Tidak Langsung	<ul style="list-style-type: none"> – Timbulnya dorongan/tekanan untuk membuka lahan baru – Timbulnya keperluan akan perbaikan lahan dan bangunan yang rusak 	<ul style="list-style-type: none"> – Kerugian oleh memendeknya umur waduk – Meningkatnya frekuensi dan besarnya banjir

Sumber : Arsyad, 2000:4

2.4.5. Pendugaan Laju Erosi

2.4.5.1 Pendugaan Laju Erosi Metode *USLE* (*Universal Soil Loss Equation*)

Pada studi ini persamaan pendugaan laju erosi yang digunakan oleh kedua metode yaitu USLE atau dalam istilah Indonesia disebut Persamaan Umum Kehilangan Tanah (PUKT). Wischmeier dan Smith (1958) mengemukakan bentuk Persamaan tersebut adalah:

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (2-25)$$

dengan :

- A = Banyaknya tanah tererosi per satuan luas per satuan waktu, yang dinyatakan sesuai dengan satuan K dan periode R yang dipilih, dalam praktek dipakai satuan ton/ha/thn.
- R = Faktor erosivitas hujan dan aliran permukaan, yaitu jumlah satuan indeks erosi hujan merupakan perkalian antara energi hujan total (E) dan intensitas hujan maksimum 30 menit (I_{30}), satuan dalam KJ/ha.
- K = Faktor erodibilitas tanah, yaitu laju erosi per indeks erosi hujan (R) untuk suatu tanah yang diperoleh dari petak percobaan yang panjangnya 22,13 m dengan kemiringan seragam sebesar 9% tanpa tanaman, satuan ton/KJ.
- LS = Faktor panjang dan kemiringan lereng, yaitu nisbah antara besarnya erosi per indeks erosi dari suatu lahan dengan panjang dan kemiringan lahan tertentu terhadap besarnya erosi dari plot lahan dengan panjang 22,13 m dan kemiringan 9%, dibawah keadaan yang identik, tidak berdimensi.
- C = Faktor tanaman penutup lahan dan manajemen tanaman, yaitu nisbah erosi dari suatu lahan dengan penutup tanaman dan manajemen tanaman tertentu terhadap lahan yang identik dengan tanaman, tidak berdimensi.
- P = Faktor tindakan konservasi praktis, yaitu nisbah antara besarnya erosi dari suatu lahan dengan tindakan konservasi praktis dengan besarnya erosi dari tanah yang diolah searah lereng dalam keadaan yang identik, tidak berdimensi.

2.4.5.2. Pendugaan Laju Erosi Metode *RUSLE* (*Revised Universal Soil Loss Tolerance*)

Metode *RUSLE* merupakan revisi dari metode PUKT (*USLE*). Metode *RUSLE* menggunakan nilai dari faktor-faktor yang terlibat langsung dalam proses erosi. Semua faktor PUKT direvisi pada metode *RUSLE* yaitu (Utomo, 1994:157):

1. Nilai faktor R ditentukan dengan menggunakan EI_{30}

Curah hujan kurang dari 12,7 mm/jam diabaikan dari perhitungan indeks erosivitas, kecuali curah hujan minimal 6,35 mm yang terjadi selama 15 menit. Penentuan R mempertimbangkan tingkat keterenggan, karena pada lereng yang rendah maka erosi percikan akan menurun. Demikian pula pada tanah datar, maka genangan pada waktu hujan lebat dapat menghambat laju erosi tanah. Faktor R perlu disesuaikan dengan lereng atau $R_c = f(R, S)$, dimana $R_c = R$ yang disesuaikan, $S =$ lereng (Mutchler dan Murphree 1985 dalam Renard *et al.*, 1991)

EI_{30} dapat dihitung dengan persamaan (Arsyad, 1989:109):

$$EI_{30} = \sum E(I_{30} \times 10^{-2}) \quad (2-26)$$

Dimana:

EI_{30} = energi kinetik suatu hujan (ton-m/ha)

I_{30} = intensitas hujan maksimum selama 30 menit (cm/jam)

Nilai E dihitung dengan persamaan (Arsyad, 1989:109):

$$E = 210 + 89 \log i \quad (2-27)$$

Dimana:

E = energi kinetik suatu hujan (ton/ha/cm/jam)

i = intensitas hujan (cm/jam)

2. Faktor erodibilitas (K) pada model RUSLE dapat ditentukan dengan bantuan nomograf berdasarkan sifat-sifat tanah.
3. Faktor LS ditentukan berdasarkan panjang lereng dan kemiringan yang disesuaikan dengan tingkat kemiringan. Nilai LS adalah sama dengan 1 untuk tanah dengan panjang lereng 72,6 ft (22,12 m) dan kemiringan 9%.
 - Untuk tanah dengan kemiringan $\leq 9\%$ maka: $S = 10,8 \sin \alpha + 0,03$
 - Untuk tanah dengan kemiringan $\geq 9\%$ maka: $S = 16,8 \sin \alpha - 0,50$
 Nilai LS untuk suatu daerah tangkapan hujan dihitung per segmen.
4. Faktor pengelolaan penutup tanah (C) menggunakan konsep dasar penyimpangan erosi tanah yang terjadi pada C standar dengan kondisi terbuka dan terolah secara berlanjut. Perbandingan erosi tanah pada kondisi penelitian dengan erosi tanah pada kondisi standar sangat ditentukan oleh penggunaan lahan sebelumnya.
5. Faktor pengelolaan tanah (P) ditentukan berdasarkan pengaruh teras siring, adanya tanaman penguat teras, kemiringan, adanya bekas pengolahan tanah, faktor kontur dan drainase permukaan.

2.4.5.3 Pendugaan Laju Erosi Metode *MUSLE* (*Modified Universal Soil Loss Equation*)

Metode *USLE* dan *RUSLE* dikembangkan oleh Wischmeir dan Smith (1965, 1978) dimana *USLE* memperkirakan besarnya erosi rata-rata tahunan secara kasar dengan menggunakan pendekatan dari fungsi energi hujan, sedangkan pada metode *MUSLE* faktor energi curah hujan ini digantikan dengan faktor limpasan permukaan, sehingga besarnya perkiraan hasil sedimen menjadi lebih besar dan tidak memerlukan perhitungan nisbah pelepasan sedimen (*SDR*). Perhitungan *SDR* ini tidak diperlukan dalam perhitungan perkiraan hasil sedimen dengan *MUSLE*, karena faktor limpasan permukaan menghasilkan energi yang digunakan dalam proses pelepasan dan pengangkutan sedimen.

Untuk memperkirakan besarnya laju erosi dalam studi ini menggunakan metode *MUSLE* (*Modified Universal Soil Loss Equation*) atau MPUKT (Modifikasi Persamaan umum Kehilangan Tanah). Persamaan *MUSLE* menurut Williams (1975) adalah sebagai berikut (Utomo, 1994 : 154) :

$$A = R_w \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (2-28)$$

dengan :

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

R_w = Indeks erosivitas limpasan permukaan (MJ.cm.ha⁻¹.jam⁻¹.tahun⁻¹)

K = Indeks erodibilitas tanah (Ton ha.jam.ha⁻¹.MJ⁻¹.cm⁻¹)

L = Faktor panjang lereng

S = Faktor kemiringan lereng

C = Faktor pengelolaan tanaman

P = Faktor pengolahan tanah

2.4.5.4 Faktor Indeks Erosivitas Hujan (R)

Erosivitas merupakan kemampuan hujan untuk menyebabkan terjadinya erosi. Untuk menghitung indeks erosivitas, dibutuhkan data curah hujan yang diperoleh dari stasiun pencatat curah hujan. Ada dua macam alat pencatat curah hujan yaitu alat pencatat curah hujan otomatis dan alat pencatat curah hujan manual atau sederhana.

Kemampuan air hujan sebagai penyebab terjadinya erosi adalah bersumber dari laju dan distribusi tetesan air hujan yang akan mempengaruhi besarnya energi kinetik hujan. Oleh karena itu erosivitas sangat berkaitan dengan energi kinetik hujan (Asdak, 2001:357). Indeks erosivitas untuk pendugaan besarnya laju erosi dihitung dengan :

1) Faktor Indeks Erosivitas Metode USLE

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

$$R = \frac{P_n^2}{P} \quad (2-29)$$

dengan :

R = Indeks erosivitas (mm)

P_n = Rerata curah hujan bulanan (mm)

P = Rerata curah hujan tahunan (mm)

b. Analisa indeks erosivitas menurut Bols.

Bols (1978) berdasarkan penelitiannya di Pulau Jawa dan Madura mendapatkan persamaan sebagai berikut (Suripin, 2002 : 72):

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

dengan :

EI_{30} = Indeks erosi hujan bulanan (KJ/ha); Ton-m/ha

P_b = Curah hujan bulanan (cm)

N = Jumlah hari hujan perbulan (hari)

P_{\max} = Hujan maksimum harian 24 jam dalam bulan yang bersangkutan (cm)

Dalam studi ini analisa indeks erosivitas yang digunakan adalah Bols- EI_{30} dan Arnoldus karena menurut Sigit Mujiharjo Jurnal Penelitian (2001:185-190) metode erosivitas Bols dengan EI_{30} memiliki korelasi yang cukup tinggi dibandingkan metode yang lain. Sedangkan metode USLE dengan R Arnoldus hanya digunakan sebagai pembandingan.

2) Faktor Indeks Erosivitas Metode RUSLE

Semua faktor PUKT direvisi pada metode RUSLE yaitu (Utomo, 1994:157):

Nilai faktor R ditentukan dengan menggunakan EI_{30}

Curah hujan kurang dari 12,7 mm/jam diabaikan dari perhitungan indeks erosivitas, kecuali curah hujan minimal 6,35 mm yang terjadi selama 15 menit. Penentuan R mempertimbangkan tingkat kelerengan, karena pada lereng yang rendah maka erosi percikan akan menurun. Demikian pula pada tanah datar, maka genangan pada waktu hujan lebat dapat menghambat laju erosi tanah. Faktor R perlu disesuaikan dengan lereng atau $Rc = f(R,S)$, dimana $Rc = R$ yang disesuaikan, S = lereng (mutchler dan Murphree 1985 dalam renard *et al.*, 1991)

EI_{30} dapat dihitung dengan persamaan (Arsyad, 1989:109):

$$EI_{30} = \sum E(I_{30} \times 10^{-2}) \quad (2-31)$$

Dimana:

EI_{30} = energi kinetik suatu hujan (ton-m/ha)

I_{30} = intensitas hujan maksimum selama 30 menit (cm/jam)

Nilai E dihitung dengan persamaan (Arsyad, 1989:109):

$$E = 210 + 89 \log i \quad (2-32)$$

Dimana:

E = energi kinetik suatu hujan (ton/ha/cm/jam)

i = intensitas hujan (cm/jam)

3) Faktor Limpasan Permukaan (R_w) sebagai Indeks Erosivitas Metode *MUSLE*

Indeks erosivitas untuk pendugaan besarnya laju erosi dapat dihitung dengan analisa R_w menurut Williams. Rumus ini digunakan pada daerah aliran yang cukup luas, selama erosi juga terjadi pengendapan dalam proses pengangkutan. Dalam rumus ini, William mengadakan Modifikasi PUKT untuk menduga hasil endapan dari setiap kejadian limpasan permukaan dengan cara mengganti indeks erosivitas (R) dengan erosivitas limpasan permukaan (R_w).

$$R_w = 9.05 \cdot (V_o \cdot Q_p)^{0,56} \quad (2-33)$$

Dimana:

$$V_o = R \cdot \exp(-R_c / R_o) \quad (2-34)$$

$$R_c = 1000 \cdot M_s \cdot B_D \cdot R_D \cdot (E_t / E_o)^{0,50} \quad (2-35)$$

$$R_o = R / R_n \quad (2-36)$$

Dengan :

R_w = Indeks erosivitas limpasan permukaan ($MJ \cdot cm \cdot ha^{-1} \cdot jam^{-1} \cdot tahun^{-1}$).

V_o = Volume limpasan permukaan (m^3)

Q_p = Laju maksimum aliran air permukaan (m^3/det)

R = Jumlah curah hujan bulanan (mm)

R_o = Hujan satuan (mm)

M_s = Kandungan lengas pada kapasitas lapang (%)

B_D = Berat jenis volume lapisan tanah atas (Mg^3/m)

R_D = Kedalaman perakaran efektif (m), didefinisikan sebagai lapisan impermeable.

Besarnya ditentukan sebagai berikut :

a. Untuk tanaman pohon, tanaman kayu = 0,10

b. Untuk tanaman semusim dan rumput = 0.05

E_t/E_o = Perbandingan evapotranspirasi actual (E_t) dengan evapotraspirasi potensial

R_n = Jumlah hari hujan bulanan

Untuk memperkirakan besarnya nilai parameter-parameter dalam perhitungan R_w dapat digunakan Tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.4 Nilai MS, ρ_b , dan K pada berbagai macam tekstur tanah

Tekstur Tanah	MS % w/w	ρ_b Mg/m ³	K g/J	RD m
Liat (clay)	45	1.1	0.02	Rumput : 0.05 m
Lempung Berliat	40	1.3	0.4	padi-padian : 0.10 m
Liat Berdebu	30	-	-	
Lempung Berpasir	28	1.2	0.3	
Lempung Berdebu	25	1.3	-	
Lempung	20	1.3	-	
Pasir Halus	15	1.4	0.2	
Pasir	8	1.5	0.7	

Sumber: Utomo,1994:155

Tabel 2.5 Nilai C dan Et/Eo beberapa macam tanaman

Tanaman	Et/Eo
Padi Sawah	1.35
Wheat	0.6
Jagung	0.67-0.70
Cassava	0.62
Kentang	0.70-0.80
Beans	0.62-0.69
Kacang Tanah	0.5-0.87
The	0.85-1.00
Karet	0.9
Kelapa Sawit	1.2
Rumput Prairie	0.80-0.95
Hutan	0.90-0.10
Tanah Bero	0.05

Sumber: Utomo,1994:157

Meskipun indeks erosivitas (R/R_w) dari ketiga metode yaitu *USLE*, *RUSLE* dan *MUSLE* berbeda namun untuk penentuan harga parameter erosivitas yang lain yaitu K, L, S, C, dan P, dalam studi ini disamakan untuk menghindari penyimpangan yang besar.

2.4.5.5 Faktor Erodibilitas Tanah (K)

Mudah atau tidaknya suatu tanah tererosi disebut erodibilitas tanah yang dalam persamaan umum kehilangan tanah diberi istilah indeks erodibilitas tanah dengan simbol K. Suatu tanah yang memiliki nilai erodibilitas tinggi akan lebih mudah tererosi

dibandingkan tanah yang memiliki nilai erodibilitas rendah. Kepekaan suatu terhadap erosi dipengaruhi oleh (Utomo,1994:47):

1. Ketahanan tanah terhadap daya rusak dari luar
2. Kemampuan tanah untuk menyerap air (infiltrasi dan perkolasi).

Tanah bertekstur kasar mempunyai kapasitas infiltrasi yang tinggi, dan jika tanah tersebut cukup dalam, maka erosi dapat diabaikan. Tanah bertekstur halus juga mempunyai kapasitas infiltrasi yang cukup tinggi, akan tetapi jika terjadi aliran permukaan maka butir-butir halus akan mudah terangkut.

Metode penentuan indeks erodibilitas tanah yang lain juga dapat dilakukan dengan menggunakan nomograf erodibilitas (Gambar 2.12b) yang dikembangkan oleh Wischmeier (1971).

Penentuan besarnya indeks erodibilitas dapat menggunakan metode :

1. Wischmeier *et al*, 1971 (Utomo, 1994 : 50) mengembangkan nomograf erodibilitas nilai K berdasarkan kepekaan tanah terhadap erosi dipengaruhi oleh tekstur tanah (terutama kadar debu + pasir halus), bahan organik, struktur dan permeabilitas seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 2.6 Klasifikasi Struktur Yang Menggunakan Nomograf

Kelas	Keterangan
1	Granuler sangat halus
2	Granuler halus
3	Granuler sedang – kasar
4	Masif kubus, lempeng

Sumber : Utomo, 1994 : 50

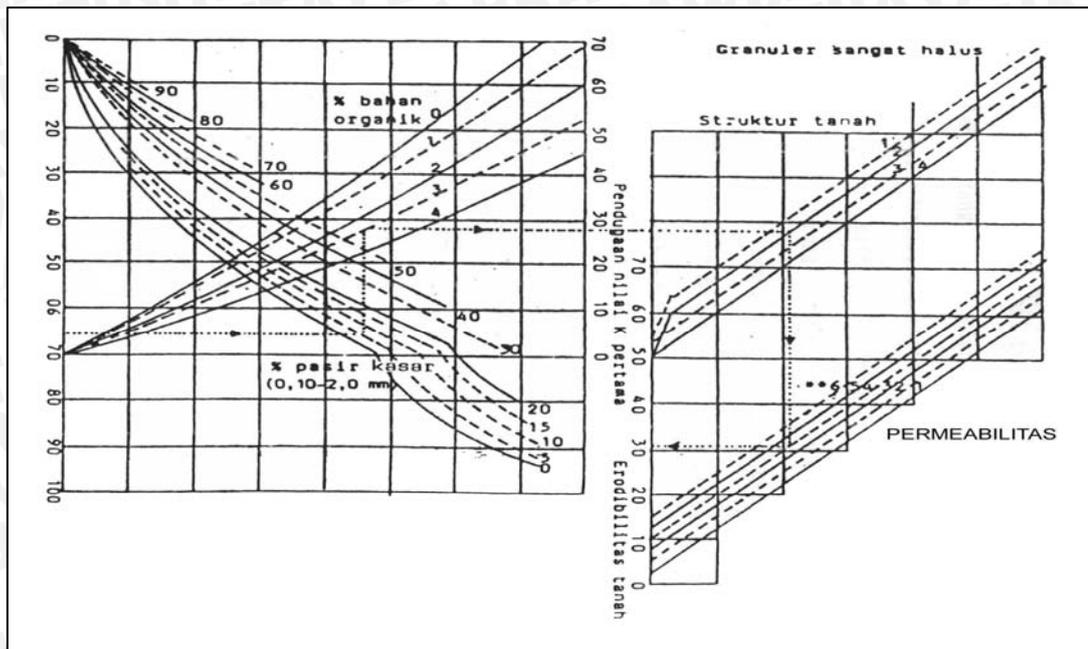
Sifat tanah yang lain, dalam hal ini prosentase debu, prosentase pasir halus, prosentase (%) pasir kasar, kandungan bahan-bahan organik dan permeabilitas ditentukan di laboratorium. Selanjutnya, permeabilitas digolongkan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Klasifikasi Permeabilitas Menggunakan Nomograf

Kelas	Keterangan	Permeabilitas (cm/jam)
1	Cepat	>12.5
2	Agak cepat	6.25 – 12.5
3	Sedang	2.00 – 6.25
4	Agak lambat	0.50 – 2.00
5	Lambat	0.125 – 0.50
6	Sangat lambat	< 0.125

Sumber : Utomo, 1994 : 51

Pendugaan besarnya nilai indeks erodibilitas tanah dapat menggunakan data-data tersebut dengan nomograf Wischmeier seperti pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12b Nomograf Untuk Menentukan Nilai Erodibilitas (K)

2. Nilai K dapat juga menggunakan pendugaan nilai erodibilitas berdasarkan jenis tanah dan pendekatan beberapa hasil *Screening Study Brantas Watershed* dan hasil penelitian Pusat Penelitian Tanah (PPT) Bogor dan PSLH Unibraw.

Tabel 2.8 Perkiraan Besar Nilai Erodibilitas (K) Beberapa Jenis Tanah di P. Jawa

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 Naplortnox)	0,26
12	Latosol Coklat (Typic Tropudulut)	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 Tropaguep/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	Cambisol Blitar Selatan	0,17-0,30
30	Maditeran Dampit	0,21-0,30
31	Latosol Blitar Selatan	0,14-0,20

Sumber : BP DAS Brantas

2.4.5.6. Faktor Panjang Lereng (L) dan Kemiringan Lereng (S)

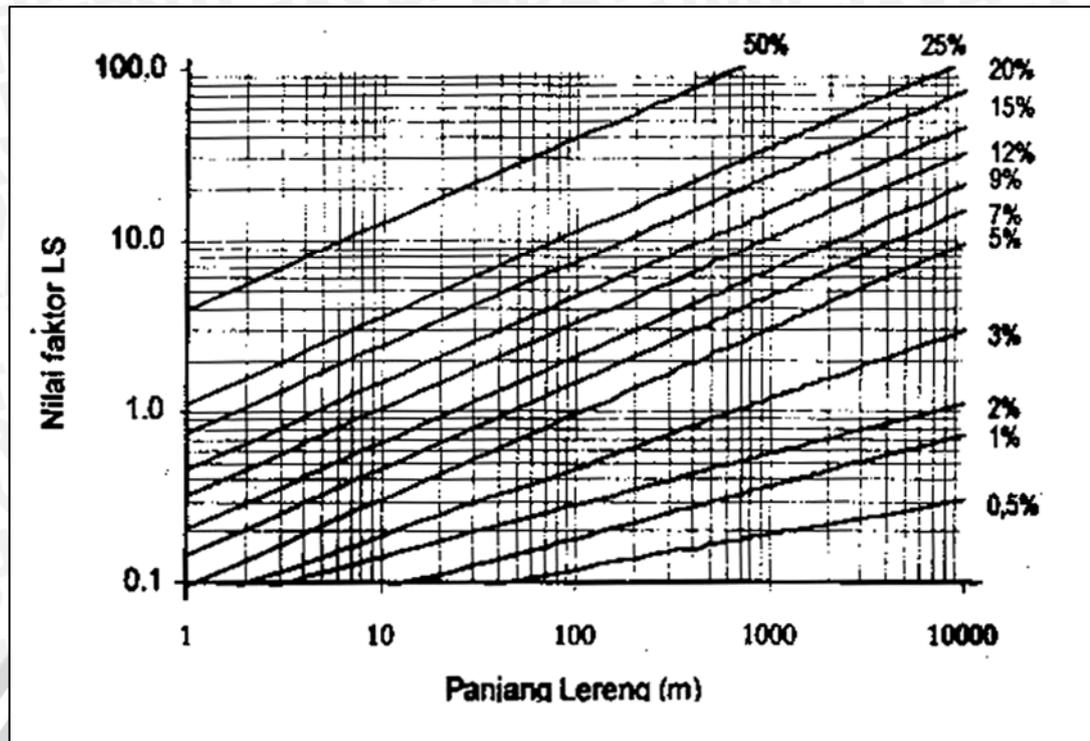
Faktor panjang lereng (L) dan kemiringan lereng (S) mempengaruhi besarnya erosi yang terjadi. Sifat lereng yang mempengaruhi energi penyebab erosi adalah :

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.

Panjang dan kemiringan lereng merupakan sumber terjadinya kesalahan terbesar dalam penerapan rumus PUKT. Panjang lereng adalah batas atas lapangan hingga titik dimana aliran terkonsentrasi pada saluran dilapangan, jurang atau sungai atau titik dimana mulai terjadi disposisi. Panjang dan kemiringan lereng harus ditentukan dari hasil pengukuran dilapangan dengan cara tiap satuan lahan dibagi menjadi satuan lahan yang lebih kecil kemudian dipetakan, kemudian ditentukan kemiringan lereng rata-rata (S) dalam % dan panjang lereng rata-rata hasil pengukuran lapangan.

Selanjutnya hasil informasi tersebut dapat digunakan untuk menghitung nilai LS pada nomograf yang telah dimodifikasi yang dikembangkan oleh SCS-USDA seperti pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Nomograf Faktor Panjang-Kemiringan Lereng (LS)
(Suripin, 2002:77)

Dalam persamaan PUKT, standar lereng yang digunakan adalah dengan panjang (L) = 22 m dan $S = 9\%$. Jika keadaan lereng dilapangan berbeda, maka (Utomo, 1994:147) lebih dahulu perlu dihitung faktor L dan S dengan rumus:

$$LS = \sqrt{(L/100) \cdot (0,136 + (0,0975 \cdot S) + (0,0139 \cdot S^2))} \quad (2-37)$$

dimana:

LS = faktor panjang dan kemiringan lereng

L = panjang lereng (m)

S = kemiringan lereng (%)

Tabel 2.8 Nilai Faktor Kemiringan Lereng (S)

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 : Anonim, 1998 : 50

2.4.5.7. Faktor Tanaman (C)

Faktor tanaman (C) ialah perbandingan antara besarnya erosi dari lahan yang ditanami suatu jenis tanaman terhadap besarnya erosi tanah yang tidak ditanami dan diolah bersih (Arsyad, 2000:254).

Hasil penelitian Pusat Penelitian Tanah Bogor terhadap daerah di Jawa, nilai faktor C berbagai tanaman dan pengelolaan tanaman seperti pada Tabel 2.9 sebagai perkiraan.

Tabel 2.9 Nilai Faktor C Untuk Berbagai Jenis Tanaman dan Pengelolaan Tanaman

Jenis tanaman/tataguna lahan	Nilai C
Tanaman rumput (<i>Brachiaria sp.</i>)	0,290
Tanaman kacang jogo	0,161
Tanaman Gandum	0,242
Tanaman ubi kayu	0,363
Tanaman kedelai	0,399
Tanaman serai wangi	0,434
Tanaman padi lahan kering	0,560
Tanaman padi lahan basah	0,010
Tanaman jagung	0,637
Tanaman jahe, cabe	0,900
Tanaman kentang ditanam searah lereng	1,000
Tanaman kentang ditanam searah kontur	0,350
Pola tanam tumpang gilir (jagung+padi+ubi kayu setelah panen ditanami kacang tanah) + mulsa jerami (6ton/ha/th)	0,079
Pola tanam berurutan + mulsa sisa tanaman	0,347
Pola tanam berurutan (padi-jagung-kacang tanah)	0,398
Pola tanam tumpang gilir + mulsa sisa tanaman	0,357
Kebun campuran	0,200
Ladang berpindah	0,400
Tanah kosong diolah	1,000
Tanah kosong tidak diolah	0,950
Hutan tidak terganggu	0,001
Semak tidak terganggu	0,010
Alang-alang permanen	0,020
Alang-alang dibakar	0,700
Sengon disertai semak	0,012
Sengon tidak disertai semak dan tanpa seresah	1,000
Pohon tanpa semak	0,320
Tegalan tidak dispesifikasi	0,700
Kacang tanah	0,200
Tebu	0,200
Pisang	0,600
Rumput bedé (tahun pertama)	0,287
Rumput bedé (tahun kedua)	0,002
Kopi dengan penutup tanah buruk	0,200
Talas	0,850
Kebun campuran : - kerapatan tinggi	0,100
- kerapatan sedang	0,200
- kerapatan rendah	0,500
Hutan alam seresah kurang	0,005
Hutan produksi : - tebang habis	0,500
- tebang pilih	0,200
Semak belukar/padang rumput	0,300
Ubi kayu + kedelai	0,181
Ubi kayu + kacang tanah	0,195
Padi – sorghum	0,345
Padi – kedelai	0,417
Kacang tanah + gude	0,495
Kacang tanah + kacang tunggak	0,571
Kacang tanah + mulsa jerami 4 ton/ha	0,049
Padi + mulsa jerami 4 ton/ha	0,096
Kacang tanah + mulsa jagung 4 ton/ha	0,128
Kacang tanah + mulsa <i>Crotalaria</i> 3 ton/ha	0,136

Sumber : Asdak, 2002 : 373 dan Arsyad, 2000:258

Pada penelitian ini, pengelolaan tanaman, pemilihan bibit, pengolahan tanah, waktu tanam, dan pemeliharaan semuanya sesuai anjuran Dinas Pertanian.

2.4.5.8. Faktor Konservasi (P)

Nilai faktor tindakan manusia dalam konservasi tanah (P) adalah nisbah antara besarnya erosi rata-rata dari lahan dengan suatu tindakan konservasi tertentu terhadap besarnya erosi pada lahan tanpa tindakan konservasi, dengan catatan faktor-faktor penyebab erosi yang lain diasumsikan tidak berubah. Berikut nilai faktor *P* pada berbagai aktivitas konservasi tanah di Jawa seperti pada Tabel 2.10

Tabel 2.10 Nilai Faktor *P* Pada Berbagai Aktivitas Konservasi Tanah di Jawa (Abdurachman dkk., 1984)

Teknik Konservasi Tanah	Nilai <i>P</i>
1. Teras bangku :	
a. Konstruksi baik	0,04
b. Konstruksi sedang	0,15
c. Konstruksi kurang baik	0,35
d. Teras Tradisional	0,40
2. Strip tanaman rumput Bahia	0,40
3. Pengolahan tanah dan penanaman menurut garis kontur :	
a. kemiringan 0-8 %	0,50
b. kemiringan 9-20 %	0,75
c. kemiringan >20 %	0,90
4. Tanpa tindakan konservasi	1,00

Sumber : Arsyad, 2000 : 259

Penilaian faktor *P* di lapangan lebih mudah digabungkan dengan faktor *C* karena dalam kenyataannya, kedua faktor tersebut berkaitan erat. Beberapa nilai faktor *CP* yang telah berhasil ditentukan berdasarkan penelitian di Pulau Jawa adalah seperti tersebut pada Tabel 2.11

Tabel 2.11 Perkiraan Nilai Faktor *CP* Berbagai Jenis Penggunaan Lahan di Jawa

No.	Konservasi dan Pengelolaan Tanaman	Nilai <i>CP</i>
1.	Lahan tanpa tanaman	1,000
2.	Hutan :	
	a. Tak terganggu	0,001
	b. Tanpa tanaman bawah	0,030
	c. Tanpa tanaman bawah dan serasah	0,500
3.	Semak :	
	a. Tak terganggu	0,010
	b. Sebagian berumput	0,100
4.	Kebun :	
	a. Campuran asli	0,020
	b. Kebun	0,070
	c. Pekarangan	0,200
5.	Perkebunan :	
	a. Penutupan tanah sempurna	0,010
	b. Penutupan tanah sebagian	0,070

6.	Perumputan : a. Penutupan tanah sebagian, ditumbuhi alang-alang b. Pembakaran alang-alang setahun sekali c. Serai wangi (<i>Citronella grass</i>) d. Savanna dan padangrumput e. Rumput <i>Brochioria</i>	0,020 0,060 0,650 0,010 0,002
7.	Perladangan : a. 1 tahun tanam, 1 tahun bero b. 1 tahun tanam, 2 tahun bero	0,280 0,190
8.	Tanaman pertanian : a. umbi-umbian b. bebijian c. kacang-kacangan d. tembakau e. kapas, tembakau f. campuran g. padi irigasi	0,630 0,510 0,360 0,580 0,500 0,430 0,020
9.	Pertanian dengan konservasi : a. Mulsa jerami b. Mulsa kacang tanah c. Strip d. Strip <i>Crotalaria</i> e. Teras bangku f. Teras guludan (contour cropping)	0,06 – 0,20 0,20 – 0,40 0,10 – 0,30 0,64 0,040 0,140

Sumber : Utomo, 1994:151 dan Asdak, 2002:376

Dalam studi kali ini faktor C sesuai Tabel 2.9, sedangkan P sama dengan Tabel 2.10 dengan asumsi bahwa semua jenis tata guna lahan selain sawah belum mendapatkan teknik konservasi sama sekali, dimana nilai faktor P=1.

2.5. Pendugaan Sedimen

2.5.1 Debit Sungai

Debit aliran diperoleh dengan menghubungkan antara tinggi muka air sungai dengan nilai koefisien regresi dimana debit air merupakan hasil perkalian antara kecepatan V (m^3/dtk) dan luas penampang basah sungai dimana tinggi muka air h (m) diperoleh dari Automatic Water Level /AWLR yang terdapat di dekat outlet.

2.5.2. Sedimen

Sedimentasi yang merupakan perpindahan dan pengendapan erosi tanah, khususnya sebagai hasil dari percepatan erosi lembar dan erosi. Menurut Linsley *et al.* (1983) sedimentasi menggambarkan material tersuspensi dan diangkut oleh gerakan air dan angin. Dari proses sedimentasi, hanya sebagian aliran sedimen disungai yang diangkut keluar dari DAS, sedangkan yang lain mengendap dilokasi tertentu dari sungai (Gottschalk, 1984, dalam Ven T Chow, 1964).

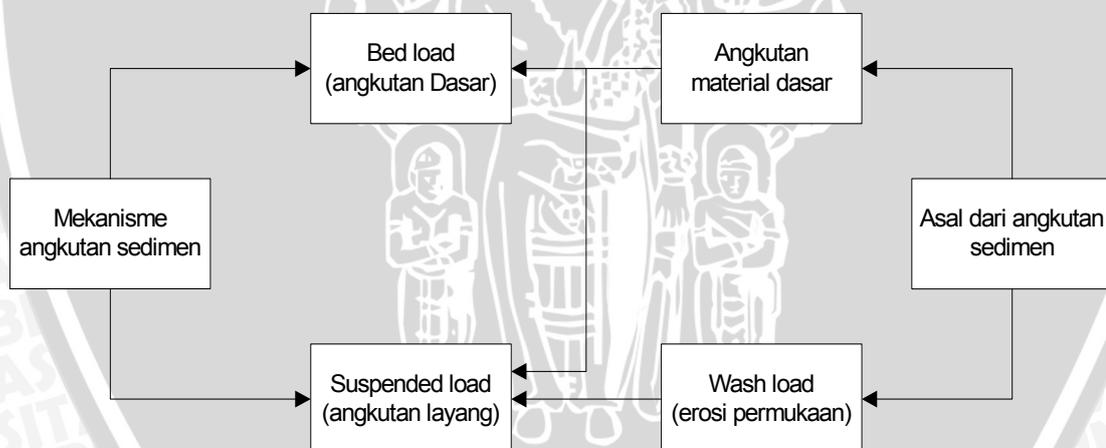
2.5.2.1 Angkutan Sedimen

Pemantauan sedimen merupakan faktor utama dalam pengelolaan suatu DAS karena dapat memberi gambaran dan perkiraan lebih nyata dan realistis terhadap gambaran kritisnya suatu DAS. Angkutan sedimen (*sedimen transport*) dilihat dari cara Bergeraknya dapat dibagi dua yaitu:

- Angkutan melayang (*suspended load*), dimana partikel-partikel sedimen sangat kecil bergerak melayang bersama aliran air
- Angkutan dasar (*bed load*), dimana gerakan partikelnya tidak jauh dari dasar sungai dan bergerak secara bergeser, menggelinding atau berloncat-loncat

Sedangkan dilihat dari asalnya partikel-partikel sedimen tersebut dapat dibagi dua, yaitu:

- Muatan kuras (*wash load*), yaitu bagian dari muatan angkut sedimen yang terdiri dari butir yang sangat halus dibandingkan dengan yang didasar sungai dan biasanya berasal dari erosi permukaan tanah
- Material dasar sungai (*bed material load*), ialah bagian dari muatan angkut sedimen yang terdiri dari butir-butir yang berasal dari dasar sungai



Gambar 2.14 Skema Angkutan Sedimen
(Ilyas dan Ginting, 1991:16)

Sedimen yang terjadi dari suatu DAS dapat merupakan *Suspended Load* dan *Bed Load* yang diukur secara terpisah. Pada kebanyakan sungai “*wash load*” merupakan bagian dari angkutan sedimen yang terbesar (dari erosi dataran permukaan tanah) yang jumlahnya sekitar 80 – 90 % dari total angkutan sedimen (Ilyas dan Ginting, 1990:16).

- **Sedimen Muatan Layang (*Suspended Load Transport*)**

Muatan layang terdiri dari butiran halus yang ukurannya lebih kecil dari 0,1 mm dan senantiasa melayang dalam aliran air. Seringkali material sedimen yang agak

besar/kasar merupakan hasil sedimen yang berasal dari erosi tebing sungai, sedang material yang lebih halus berasal dari erosi permukaan.

Muatan layang (*suspended load*) tidak berpengaruh terhadap alterasi, tetapi dapat mengendap di muara-muara sungai ataupun dasar waduk yang dapat menimbulkan pendangkalan dan akhirnya menyebabkan berbagai masalah. Erosi lahan menyebabkan terangkutnya butiran tanah (terutama partikel halus) dari hulu DAS mengalir sepanjang sungai menuju outlet. Dalam studi kali ini, besarnya *suspended load* diukur langsung di lapangan dengan pengambilan sampel. Sedangkan *bed load*nya tidak diperhitungkan.

Sedimentasi potensial merupakan proses pengangkutan sedimen yang berasal dari proses erosi yang secara potensial mempunyai kemampuan untuk mengendap di jaringan irigasi dan lahan persawahan maupun pada suatu sungai.

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi hasil sedimen (*sediment yield*) adalah :

- a. Jumlah dan intensitas curah hujan
- b. Tipe tanah dan formasi geologi
- c. Lapisan tanah
- d. Tata guna lahan
- e. Topografi
- f. Jaringan sungai, yang meliputi (kerapatan, kemiringan, bentuk, ukuran dan saluran).

2.5.2.2. Pengukuran Sedimen

Hasil sedimen tergantung pada besarnya erosi total di DAS atau sub DAS dan tergantung pada transpor partikel-partikel tanah yang tererosi tersebut keluar dari daerah tangkapan air Das atau sub DAS, karena tidak semua tanah yang tererosi di permukaan daerah tangkapan air akan sampai ke titik pengamatan. Sebagian tanah tererosi tersebut akan terdeposisi di cekungan-cekungan permukaan tanah, di kaki-kaki lereng dan bentuk-bentuk penampungan sedimen lainnya. Oleh karenanya besar hasil sedimen bervariasi mengikuti karakteristik fisik DAS atau sub DAS.

Pengukuran sedimen dimaksudkan untuk menentukan konsentrasi sedimen dari sampel sedimen yang diambil di lapangan. Contoh sedimen yang diambil adalah sedimen melayang (*suspended sediment*) karena dianggap mewakili erosi yang terjadi di lahan.

Metode pemantauan angkutan sedimen yang masuk ke sungai dapat dilakukan sebagai berikut:

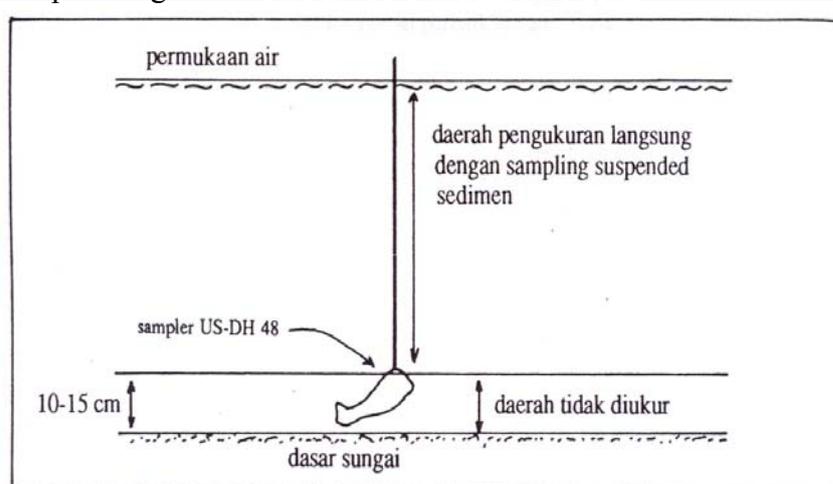
- 1). DAS yang mempunyai pos monitoring pengukur tinggi muka air, debit dan pengambilan sampel sedimen disebut *gauged area*, maka perkiraan sedimen *suspended load* menggunakan formula hidrolika dan hidrologi.
- 2). DAS yang tidak mempunyai pos monitoring data tinggi muka air dan debit (*ungauged area*) perkiraan sedimennya dilakukan dengan jalan menghitung besarnya erosi dengan persamaan empiris kemudian dikalikan dengan NPS (Nisbah Pengangkutan Sedimen) setempat.

Perkiraan kehilangan tanah dengan menggunakan persamaan laju erosi hanya menghitung kehilangan tanah dari erosi lembar dan erosi alur di bawah kondisi tertentu, tidak memperkirakan hasil sedimen dari erosi parit, tebing sungai dan dasar sungai. Oleh karena itu besarnya *sedimen yield* dapat diperkirakan dari besarnya erosi yang dikalikan dengan nilai SDR.

▪ **Pengukuran sedimen melayang (*suspended load*) di lapangan**

Dalam pengambilan sampel sedimen melayang dipakai cara kedalaman yang terintegrasi (*depth integral*), dimana alat pengambil sampel sedimen diturunkan dari permukaan air sampai ke dasar sungai dengan kecepatan konstan dengan waktu tertentu sesuai dengan kecepatan arus. Dan untuk arah lebarnya sungai, maka penampang sungai dibagi beberapa bagian dengan jumlah debit yang sama sebagai tempat ulangan pengambilan sampel konsentrasi angkutan sedimen melayang.

Alat pengambilan sampel sedimen melayang dikenal antara lain *Delf bottle* atau juga US-DH 48. Pengukuran dengan alat sample tersebut umumnya muatan konsentrasi sediment yang terletak ± 10 cm dari dasar sungai tidak dapat diukur karena mulut alat sampel terletak pada bagian atas.



Gambar 2.15. Gambaran daerah terukur dan tak terukur pada kedalaman sungai (Ilyas dan Ginting, 1991:18)

Analisa laboratorium dilaksanakan oleh petugas teknis dengan data contoh sedimen yang telah disaring dikeringkan dalam oven dengan suhu tertentu ($\pm 150^\circ\text{C}$) kemudian hasilnya ditimbang untuk mendapatkan berat sedimen dengan satuan grm/Lt, kemudian berat sedimen diubah kedalam satuan ton/hari dengan persamaan:

$$\begin{aligned} Q_s &= 60 \times 60 \times 24 \times C \times Q_w \\ Q_s &= 0,0864 \times C \times Q_w \end{aligned} \quad (2-38)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} Q_s &= \text{debit sedimen melayang (ton/hari)} \\ C &= \text{konsentrasi sedimen melayang (mg/L atau g/m}^3\text{)} \\ Q_w &= \text{debit air (m}^3\text{/dtk)} \end{aligned}$$

Data sedimen dihitung dengan cara membuat regresi yang diperoleh dari hubungan antara debit aliran, Q_w ($\text{m}^3\text{/dtk}$) dengan debit sedimen melayang, Q_s (ton/hari) yang dikenal sebagai lengkung angkutan sedimen melayang dengan persamaan regresi berpangkat yaitu:

$$Q_s = a \cdot Q_w^b \quad (2-39)$$

dengan:

a dan b = koefisien regresi yang diperoleh dengan terlebih dahulu mengalgoritamkan persamaan $\log Q_s = \log a + b \cdot \log Q_w$, dimana:

$$Q_s = a + bQ_w$$

$$Y = a + bx$$

n = jumlah data pengukuran

y = variabel tidak bebas

x = variabel bebas

a, b = koefisien regresi

b = *slope*, sudut yang dibentuk oleh kurva linier dan sumbu x

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

a = *y-intercept*, kurva linier yang memotong sumbu y

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

x_i, y_i = angka pengamatan dilapangan

Dengan hubungan antara kurva debit-sedimen dan analisa regresi, maka diperoleh besarnya muatan sedimen yang terangkut dalam ton/hari.

Sebagian atau sebagian kecil material sedimen yang tererosi di lahan (DAS) mencapai *outlet* basin atau sungai/saluran terdekat. Dalam perjalanannya dari tempat terjadinya erosi lahan sampai outlet terjadi pengendapan atau deposisi. Tidak semua sedimen yang dihasilkan erosi aktual menjadi sedimentasi di sungai, namun tergantung dari nisbah antara volume sedimen hasil erosi aktual yang mampu mencapai aliran sungai dengan volume sedimen yang diendapkan dari lahan di atasnya, faktor ini disebut nisbah pelepasan sedimen (SDR - *sediment delivery ratio*). Dalam perhitungan SDR rumus yang digunakan adalah (DPU Dirjen Pengairan, 1999 : 79):

$$SDR = S \times \frac{(1 - 0.8683(A^{-0.2018}))}{2(S + 50.n)} + 0.8683(A^{-0.2018}) \quad (2.40)$$

dimana:

SDR = nisbah pelepasan sedimen, nilainya $0 < SDR < 1$

A = luas DAS (ha)

S = kemiringan lereng rata-rata permukaan DAS (%)

n = koefisien kekasaran Manning

Untuk lebih mudah, USDA mengembangkan pendekatan SDR berdasarkan luas area.

Tabel 2.12 Perkiraan *Sediment Delivery Ratio* (SDR).

No.	Luas DAS (Km ²)	SDR
1.	0,050	0,580
2.	0,100	0,520
3.	0,500	0,390
4.	1,000	0,350
5.	5,000	0,250
6.	10,000	0,220
7.	50,000	0,153
8.	100,000	0,127
9.	500,000	0,079
10.	1000,000	0,059

Sumber: Morgan, 1979

Dengan menentukan nisbah laju erosi dan SDR maka diperoleh nilai sedimen empiris.

2.5.3 Uji Penyimpangan

Uji penyimpangan dalam studi ini bertujuan untuk mengetahui besarnya penyimpangan laju suspended load teoritis terhadap laju suspended load di lapangan.

Rumus yang digunakan dalam uji ini adalah (Triatmodjo, 1992: 5)

$$d = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \times 100\% \quad (2-21)$$

dengan:

d = besarnya penyimpangan (%)

E_1 = laju *suspended load* lapangan (ton/tahun)

E_2 = laju *suspended load* teoritis (ton/tahun)

2.6 Pendugaan Kekritisan Lahan

2.6.1 Erosi yang Diperbolehkan Edp (*Soil Loss Tolerance*)

Erosi merupakan proses alamiah yang tidak bisa untuk dihilangkan sama sekali atau tingkat erosinya nol, khususnya untuk lahan-lahan yang diusahakan untuk pertanian. Tindakan yang dilakukan adalah mengusahakan supaya erosi yang terjadi masih dibawah ambang batas yang maksimum (*soil loss tolerance*), yaitu besarnya erosi yang terjadi tidak melebihi laju pembentukan tanah

Erosi yang diperbolehkan adalah kecepatan erosi yang masih berada di bawah laju pembentukan tanah. 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
- Kehilangan bahan organik
- Kehilangan zat hara tanah dan kecepatan pembentukan tanah.

Di Indonesia, Hammer (1981) seorang ahli konservasi tanah dari Australia yang bekerja di Pusat Penelitian Tanah Bogor, mengusulkan agar menghitung nilai erosi yang diperbolehkan berdasarkan kedalaman ekuivalen tanah dan kelestarian sumber daya tanah (umur) yang diharapkan dengan persamaan :

$$Edp = \frac{\text{Kedalaman Tanah Ekuivalen}}{\text{Kelestarian Tanah}} \quad (2-41)$$

Untuk menentukan besarnya erosi yang diperbolehkan dapat digunakan tabel berikut:

Tabel 2.13 Nilai Batas Maksimum Laju Erosi yang Diperbolehkan Untuk Tanah di Indonesia

No.	Sifat Tanah dan Substratum	Batas Erosi Yang Diperbolehkan (Edp)	
		(ton/ha/th)	(mm/th)
1	Tanah sangat dangkal di atas batuan	0,0	0,0
2	Tanah sangat dangkal di atas bahan telah melapuk (tidak terkonsolidasi)	4,8	0,4
3	Tanah dangkal di atas bahan telah melapuk	9,6	0,8
4	Tanah dengan kedalaman sedang di atas bahan telah melapuk	14,4	1,2
5	Tanah yang dalam dengan lapisan bawah yang kedap air di atas substrata yang telah melapuk	16,8	1,4
6	Tanah yang dalam dengan lapisan bawah berpermeabilitas lambat, di atas substrata telah melapuk	19,2	1,6
7	Tanah yang dalam dengan lapisan bawahnya berpermeabilitas sedang, di atas substrata telah melapuk	24,0	2,0
8	Tanah yang dalam dengan lapisan bawah yang permeabel, di atas substrata telah melapuk	30,0	2,5

Sumber : Arsyad., 2000:244

- $\frac{\text{ton/ha/th}}{\text{berat volume tanah}} \times 10 = \text{mm/tahun}$
- Berat volume tanah berkisar antara 0,8 sampai 1,6 gr/cc akan tetapi pada umumnya tanah-tanah berkadar liat tinggi mempunyai berat volume antara 1,0 sampai 1,2 gr/cc.

Kekritisan lahan dapat diketahui dengan melihat tabel besar erosi yang diijinkan. Apabila nilai perhitungan laju erosi melebihi nilai erosi yang diijinkan maka lahan tersebut dapat dikategorikan sebagai lahan kritis.

Tabel 2.14 Nilai Edp Berdasarkan Kedalaman Daerah Perakaran (USDA-SCS, 1973)

Kedalaman Solum Tanah (cm)	Edp (ton/ha/thn)	
	Tanah Terbaharui	Tanah Tak terbaharui
< 25	2.2	2.2
25 – 51	4.5	2.2
51 – 102	6.7	4.5
102 – 152	9.6	6.7
> 152	11.2	11.2

Sumber : Utomo, 1994: 17

2.6.2. Tingkat Bahaya Erosi (TBE)

Dalam pelaksanaan program konservasi tanah salah satu informasi penting yang harus diketahui adalah Tingkat Bahaya Erosi (TBE) dalam suatu DAS atau sub-DAS yang menjadi kajian. Dengan mengetahui TBE suatu DAS atau masing-masing sub-DAS, prioritas rehabilitasi tanah dapat ditentukan.

Tingkat Bahaya Erosi pada dasarnya dapat ditentukan dari perhitungan nisbah antara laju erosi tanah potensial (A) dengan laju erosi yang masih dapat ditoleransi (TSL) atau secara persamaan matematis dapat ditulis sebagai berikut (Hammer, 1981) :

$$TBE = \frac{A \text{ ton/ha/tahun}}{TSL \text{ ton/ha/tahun}} \quad (2-42)$$

Prakiraan besarnya laju erosi potensial dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *USLE*, *RUSLE*, dan *MUSLE*. Sedangkan besarnya laju erosi yang masih dapat ditoleransi dapat diperkirakan dengan menggunakan rumus :

$$TSL = \frac{DE - D_{\min}}{T} + SF \quad (\text{Hammer, 1981}) \quad (2-43)$$

$$TSL = \frac{DE \times fd}{T} \quad (\text{Arsyad, 1989}) \quad (2-44)$$

dimana :

TSL = laju erosi yang masih dapat ditoleransi (mm/th)

DE = kedalaman akar efektif (mm)

D_{\min} = kedalaman tanah minimum yang diperlukan untuk perkembangan perakaran suatu jenis tanaman (mm)

fd = faktor kedalaman

T = umur guna sumberdaya tanah (tahun)

SF = laju pembentukan tanah (mm/th)

Selain menggunakan rumus-rumus diatas, Tingkat Bahaya Erosi juga dapat diperhitungkan dari jumlah tanah yang hilang maksimum dalam ton/ha/th pada setiap unit lahan, kemudian diklasifikasikan erosinya sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan, dikombinasi dengan solum tanah maka akan diperoleh kelas tingkat bahaya erosi seperti pada Tabel 2.15. Perkiraan erosi tahunan rata-rata dan solum (kedalaman) tanah dipertimbangkan untuk menentukan Tingkat Bahaya Erosi (TBE) untuk setiap 'satuan lahan'. Kelas Tingkat Bahaya Erosi (TBE) dapat ditentukan dari tabel berikut :

Tabel 2.15 Kelas Tingkat Bahaya Erosi

Solum Tanah	Kelas Erosi				
	I	II	III	IV	V
	Erosi (ton/ha/tahun)				
	< 15	15 – 60	60 – 180	180 – 480	> 480
Dalam (> 90)	SR 0	R I	S II	B III	SB IV
Sedang (60 – 90)	R I	S II	B III	SB IV	SB IV
Dangkal (30 – 60)	S II	B III	SB IV	SB IV	SB IV
Sangat Dangkal (< 30)	B III	SB IV	SB IV	SB IV	SB IV

Sumber : Anonim, 1998:58

Keterangan : 0 - SR = Sangat Ringan
 I - R = Ringan
 II - S = Sedang
 III - B = Berat
 IV - SB = Sangat Berat

2.7 Konservasi Lahan

Konservasi lahan adalah upaya mempertahankan, merehabilitasi dan meningkatkan daya guna lahan sesuai dengan peruntukannya (Anonim, 1998:5). Dalam hal ini bahwa konservasi tanah tidak berarti penundaan pemanfaatan tanah, tetapi menyesuaikan macam penggunaannya dengan sifat-sifat atau kemampuan tanah dan memberikan perlakuan sesuai dengan syarat-syarat yang diperlukan.

Dalam melakukan konservasi tanah dapat dilakukan salah satu strategi pendekatan konservasi tanah yang diterapkan oleh Departemen Kehutanan (dalam hal ini Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai). Kegiatan konservasi tersebut dijabarkan menjadi Rencana Teknik Lapangan (RTL) – Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah (RLKT) DAS atau Sub DAS. Pola RLKT merupakan suatu rencana jangka panjang (25 tahun) yang memuat arahan umum tentang (Asdak, 2002:414) :

1. Penggunaan pemanfaatan lahan sesuai kemampuannya.
2. Metode atau teknik RLKT untuk setiap kawasan penggunaan lahan.
3. Urutan prioritas penanganan Sub DAS sesuai dengan tingkat kekritisannya.

2.7.1. Klasifikasi Kemampuan Lahan

Pekerjaan yang dilakukan untuk menilai faktor-faktor yang menentukan daya guna lahan, kemudian mengelompokkan atau menggolongkan penggunaan lahan sesuai dengan sifat yang dimilikinya disebut ‘Klasifikasi kemampuan lahan’ (*Land Capability Classification*). Dalam pekerjaan klasifikasi kemampuan lahan yang dinilai hanyalah

faktor pembatasan lahan, jadi hanya kualitas lahan. Lebih khusus lagi kualitas lahan dalam hubungannya dengan erosi. Dalam pekerjaan kesesuaian lahan, disamping faktor pembatas (kualitas lahan) juga dinilai keperluan (*requirement*) tanaman yang akan diusahakan. Kualitas lahan juga lebih luas, tidak saja yang berhubungan dengan erosi, tetapi juga faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman, misalnya derajat keasaman dan kesuburan tanah.

Pada dasarnya sistem klasifikasi kemampuan lahan yang digunakan pada banyak negara dewasa ini adalah dikembangkan dari sistem USDA. USDA telah mengembangkan sistem klasifikasi kemampuan lahan yang banyak digunakan di negara-negara agraris, termasuk Indonesia, yaitu (Utomo, 1994: 75):

a. Divisi

Pembagian lahan menjadi divisi berdasarkan pada mampu tidaknya suatu lahan untuk diusahakan menjadi lahan pertanian. Ada 2 divisi lahan, yaitu divisi (1) untuk lahan yang dapat diusahakan menjadi lahan pertanian dan 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 drainase tanah, dan tingkat erosi yang terjadi.

Lahan dikelompokkan ke dalam kelas I sampai 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 usaha pertanian, dikhawatirkan akan mendapatkan hasil yang tidak optimal, membutuhkan biaya yang sangat tinggi, maupun dapat merusak kondisi lahan.

Tabel 2.16. 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.
<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. 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.

Sumber : Fletcher & Gibb, 1990:44

KELAS KEMAMPUAN LAHAN			Intensitas dan Macam Penggunaan Meningkat								
			→								
Hambatan / Ancaman	Meningkat	I II III IV	Cagar Alam	Hutan	Pengembalaan Terbatas	Pengembalaan Sedang	Pengembalaan Intensif	Pertanian Terbatas	Pertanian Sedang	Pertanian Intensif	Pertanian Sangat Intensif
			Pilihan Penggunaan	Berkurang	V VI VII VIII						

Gambar 2.16 Skema Hubungan antara Kelas Kemampuan Lahan dengan Intensitas dan Macam Penggunaan Tanah (Hardjowigeno, 1995)

c. Subkelas

Subkelas adalah pembagian lebih lanjut dari kelas berdasarkan jenis faktor penghambat dominan, yaitu bahaya erosi (e), genangan air (w), penghambat terhadap perakaran tanaman (s), lereng (g) dan iklim (c). Jenis-jenis faktor penghambat ditulis di belakang angka kelas, misalnya IIIe: lahan kelas III yang mempunyai tingkat erosi tinggi. Subkelas erosi terdapat pada lahan yang masalah utama yaitu terjadinya erosi. Penjelasan mengenai kelas lahan dapat dilihat pada Lampiran 13.

d. Satuan Pengelolaan

Kemampuan lahan dalam tingkat satuan pengelolaan memberi keterangan yang lebih spesifik tentang cara pengelolaan lahan tersebut. Dalam klasifikasi kemampuan satuan 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.

Faktor-faktor klasifikasi pada tingkat kelas adalah faktor pembatas yang bersifat permanen dan digolongkan berdasarkan intensitas faktor penghambat (Utomo, 1994:76):

1. Lereng

Di Indonesia, pengelompokan kemiringan dijadikan 7 kelas (sesuai dengan sistem USDA), yaitu:

- l_0 : Datar (0 – 3%)
- l_1 : landai / berombak (3 – 8%)
- l_2 : agak miring/bergelombang (8 – 15%)
- l_3 : miring berbukit (15 – 30%)
- l_4 : agak curam (30 – 45%)
- l_5 : curam (45 – 65%)
- l_6 : sangat curam (> 65%)

2. Tekstur

Tekstur yang dimaksud disini adalah tekstur tanah atas. Kelas tekstur yang digunakan adalah 12 kelas tekstur USDA yang dikelompokkan menjadi 5 kelompok:

- t_1 : Halus; termasuk dalam kelompok ini adalah liat dan liat berdebu.
- t_2 : Agak Halus; liat berpasir, lempung liat berdebu, lempung berliat dan liat berpasir.
- t_3 : Sedang; yaitu debu, lempung berdebu, lempung.
- t_4 : Agak kasar; yaitu lempung berpasir.
- t_5 : Kasar; yaitu pasir berlempung dan pasir

3. Permeabilitas

Permeabilitas adalah kemampuan tanah untuk mengalirkan air dan udara. Secara kuantitatif yang dimaksud permeabilitas adalah aliran air pada tanah jenuh per satuan waktu pada gradien hidraulik tertentu. Pada umumnya kelas permeabilitas yang dipakai adalah sistem USDA, dengan sedikit modifikasi untuk masing-masing negara.

Tabel 2.17 Kelas Permeabilitas menurut sistem USDA, Indonesia dan Philipina

Tingkat Permeabilitas (cm per jam)	USDA	Filipina	Indonesia
< 0.125	Sangat lambat (1)		
0.125 – 0.5	Lambat (2)	1	Lambat (p_1)
0.5 – 2.0	Agak Lambat (3)		Agak lambat
2.0 – 6.25	Sedang (4)	2	(p_2)
6.25 – 12.5	Agak cepat (5)		Sedang (p_3)
12.5 – 25.0	Cepat (6)	3	Agak cepat (p_4)
> 25.0	Sangat cepat (7)	4	Cepat (p_5)

Catatan: Untuk Indonesia, P_1 (<0.5), dan P_5 (>12.5)

Sumber : Utomo WH, 1994:77

4. Kedalaman Efektif

Kedalaman efektif adalah kedalaman tanah sampai sejauh mana tanah dapat ditumbuhi akar, menyimpan cukup air dan hara. Jadi pada umumnya kedalaman efektif dibatasi adanya kerikil dan bahan induk atau lapisan keras yang lain sehingga tidak lagi dapat ditembus akar tanaman.

Dalam sistem USDA, dikenal 4 kelas kedalaman efektif yang dipakai di Indonesia (Utomo, WH,1994:78) yaitu:

- k_0 (1) : Dalam, > 90 cm (93 cm)
- k_1 (2) : Sedang, 50 – 90 cm (50 – 93 cm)
- k_2 (3) : Dangkal, 25 – 50 cm (25 – 50 cm)
- k_3 (4) : Sangat Dangkal (< 25 cm)

5. Drainase

Drainase menggambarkan tata air pada suatu daerah. Keadaan drainase dilihat dari warna profil tanah, ada 5 kelas drainase (Utomo, WH,1994:78) yaitu:

- d_0 : Baik ; tanah mempunyai peredaran udara yang baik. Seluruh profil tanah dari atas sampai lapisan bawah berwarna terang seragam, tidak terdapat bercak-bercak.
- d_1 : Agak baik; tanah mempunyai peredaran udara baik. Tidak terdapat bercak-bercak berwarna kuning, coklat atau kelabu pada lapisan atas dan bagian lapisan bawah.
- d_2 : Agak buruk; lapisan tanah atas mempunyai peredaran udara baik, jadi pada lapisan ini tidak terdapat bercak-bercak berwarna kuning, kelabu atau coklat. Pada seluruh lapisan tanah bawah terdapat bercak-bercak kuning kelabu atau coklat.
- d_3 : Buruk; Pada tanah atas bagian bawah dan seluruh lapisan tanah terdapat bercak-bercak kuning dan kelabu atau coklat.
- d_4 : Sangat buruk; seluruh lapisan permukaan tanah berwarna kelabu atau terdapat bercak-bercak kelabu, coklat atau kekuningan.

6. Erosi

Penilaian erosi didasarkan pada gejala erosi yang sudah terjadi. Kerusakan karena erosi dikelompokkan menjadi 5 kelompok (Utomo, WH,1994:78) yaitu :

- e_0 : Tidak ada erosi
- e_1 : Ringan, jika 25% lapisan tanah atas hilang
- e_2 : Sedang, jika 25% – 75% lapisan tanah atas hilang
- e_3 : Berat, jika 75% lapisan tanah atas hilang dan 25% lapisan tanah bawah hilang
- e_4 : Sangat berat, jika lebih dari 25% lapisan bawah hilang.

7. Faktor Khusus

Disamping faktor pembatas yang umum, dalam arti mungkin ada pada semua daerah, untuk menentukan penggunaan lahan perlu juga diperhatikan faktor penghambat lain yang sifatnya khusus. Termasuk dalam faktor ini adalah batuan-batuan (baik batuan lepas maupun batuan terungkap), serta adanya ancaman banjir/genangan.

Tabel 2.18 Kelas Kemampuan Lahan

Faktor Pembatas	Kelas Kemampuan							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1. Tekstur tanah								
a. Lapisan atas (40 cm)	t_2/t_3	t_1/t_4	t_1/t_4	*	*	*	*	t_5
b. lapisan bawah	t_2/t_3	t_1/t_4	t_1/t_4	*	*	*	*	t_5
2. Lereng (%)	l_0	l_1	l_2	l_3	*	l_4	l_5	l_6
3. Drainase	d_0/d_1	d_2	d_3	d_4	**	*	*	*
4. Kedalaman Efektif	k_0	k_0	k_1	k_2	*	k_3	*	*
5. Tingkat Erosi	e_0	e_1	e_1	e_2	*	e_3	e_4	*
6. Batu / Kerikil	b_0	b_0	b_0	b_1	b_2	*	*	b_3
7. Bahaya Banjir	0_0	0_1	0_2	0_3	0_4	*	*	*

*) Dapat mempunyai nilai faktor penghambat dari kelas yang lebih rendah.

***) Permukaan tanah selalu selalu tergenang.

Sumber : Utomo, WH, 1994:80

Dalam studi ini Klasifikasi Penggunaan Lahan ditentukan berdasarkan keputusan Dirjen RLKT (Departemen Kehutanan), dimana dalam penentuan kelasnya faktor-faktor yang diperhitungkan antara lain kelas lereng, kelas erosi dan solum tanah.

2.7.2. Arahannya Penggunaan Lahan

Sesuai dengan namanya 'arahan umum', maka arahan dalam RLKT masih bersifat umum dan merupakan hasil analisis atau perumusan yang didasarkan, sebagian besar, pada faktor-faktor biofisik. Faktor-faktor sosial ekonomi-budaya belum banyak dijadikan masukan atau pertimbangan dalam perencanaan pola RLKT. (Beberapa pakar konservasi tanah beranggapan bahwa kurangnya perhatian mengenai masalah sosial pada pola RLKT ini dianggap sebagai kelemahan pola tersebut). Arahan pengaturan lahan lebih ditekankan pada fungsi masing-masing kawasan, yaitu kawasan lindung, kawasan penyangga dan kawasan budidaya.

Arahan penggunaan lahan ditetapkan berdasarkan kriteria dan tata cara penetapan hutan lindung dan hutan produksi yang berkaitan dengan karakteristik fisik DAS yaitu kemiringan lereng, jenis tanah dan kepekaannya terhadap erosi, dan curah hujan harian rata-rata. Kemiringan lereng dapat ditentukan dengan melihat garis-garis

kontur pada peta topografi. Hasil interpretasi kemiringan ini kemudian dipetakan (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.

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

▪ Kemiringan Lereng	Nilai Skor
Kelas 1 : 0 – 8% (datar)	20
Kelas 2 : 8 – 15% (landai)	40
Kelas 3 : 15 – 25% (agak curam)	60
Kelas 4 : 25 – 45% (curam)	80
Kelas 5 : \geq 45% (sangat curam)	100
▪ Tanah menurut kepekaannya terhadap erosi	Nilai Skor
Kelas 1 : Aluvial, Planosol, Hidromorf kelabu, Laterik (tidak peka)	15
Kelas 2 : Latosol (agak peka)	30
Kelas 3 : Tanah hutan coklat, tanah medeteran (kepekaan sedang)	45
Kelas 4 : Andosol, Laterik, Grumosol, Podsol, Podsoil, Podsollic (peka)	60
Kelas 5 : Regosol, Litosol, Organosol, Renzira (sangat peka)	75
▪ Intensitas hujan harian rata-rata :	Nilai Skor
Kelas 1 : \leq 13.6 mm/hari (sangat rendah)	10
Kelas 2 : 13.6 – 20.7 mm/hari (rendah)	20
Kelas 3 : 20.7 – 27.7 mm/hari (sedang)	30
Kelas 4 : 27.7 – 34.8 mm/hari (tinggi)	40
Kelas 5 : \geq 34.8 mm/hari (sangat tinggi)	50

Penetapan penggunaan lahan setiap satuan lahan kedalam suatu kawasan fungsional dilakukan dengan menjumlahkan nilai skor ketiga faktor di atas dengan mempertimbangkan keadaan setempat. Dengan cara demikian, dapat dihasilkan kawasan lindung, kawasan penyangga, dan kawasan budidaya. Berikut ini adalah kriteria yang digunakan oleh BRLKT (Balai Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah, Departemen Kehutanan) untuk menentukan status kawasan berdasarkan fungsinya :

- Kawasan lindung

Satuan lahan dengan jumlah skor ketiga faktor fisiknya 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.

- Kawasan Penyangga

Satuan lahan dengan jumlah skor 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/lingkungan hidup.

- Kawasan budidaya tanaman

Satuan lahan dengan jumlah skor 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.

- 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 usaha tani tanaman semusim.

2.7.3. Usaha-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.
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 memanfaatkan bagian-bagian dari tanaman untuk menahan air hujan agar tidak langsung mengenai tanah misalnya daun, batang dan ranting. Selain itu akar tanaman juga berfungsi untuk memperbesar kapasitas infiltrasi tanah. Metode vegetatif dalam pelaksanaannya meliputi kegiatan-kegiatan sebagai berikut:

1. Reboisasi dan penghijauan
2. Penanaman secara kontur
3. Penanaman tanaman dalam Larikan (*Strip Cropping System*)
4. Pergiliran tanaman (*Crop Rotation*)
5. Tumpang Gilir (*Relay Cropping*)
6. Tanaman Lorong (*Alley Cropping*)
7. Pemulsaan.

2. Metode Mekanik

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

1. Pembuatan Saluran Pemisah. Saluran ini berfungsi agar limpasan permukaan dari lahan atas tidak masuk ke lahan, kemudian limpasan tersebut dialirkan melalui jalan air (Utomo,1989:85).
2. 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 pasangan batu-batuan atau dengan *vegetatif lining* (Utomo, 1989: 89).
3. 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: 86):

(1) Teras Saluran (*channel terrace*).

Ada tiga macam teras saluran :

- (a) Teras Datar
- (b) Teras Kredit
- (c) Teras Gulud

(2) Teras Bangku atau Tangga (*Bench Terrace*)

Ada berbagai macam teras bangku yang dapat ditemukan di lapangan:

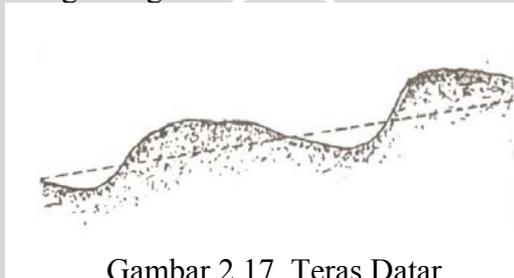
- (a) Teras Bangku Datar (*Level Terrace*)
- (b) Teras Bangku Miring (*Slope Terrace*)
- (c) Teras Bangku Berlawanan Lereng atau Teras Tajam (*Steep Terrace*)
- (d) Teras Pengairan (*Irrigation Terrace*).

Dibangun dengan cara membuat tanggul di ujung teras agar air dapat tersimpan di teras tersebut.

Macam-macam terras :

a. Teras Datar

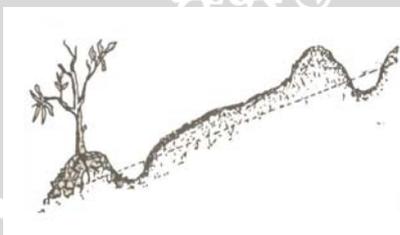
Teras datar adalah jenis teras yang dibuat pada lahan yang kemiringannya kurang dari 5% dengan maksud utama untuk membantu peresapan air ke dalam tanah. Bentuk teras datar sangat sederhana dengan bagian utama bibir teras dan bidang olah.



Gambar 2.17. Teras Datar
Sumber: Utomo, 1994: 82

b. Teras Kredit

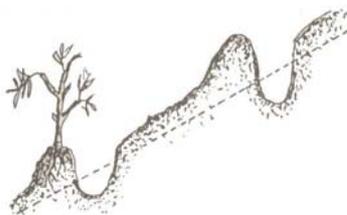
Teras kredit adalah jenis teras yang dibuat pada lahan yang kemiringannya kurang dari 15% dengan maksud utama membantu peresapan air ke dalam tanah. Bentuk teras sangat sederhana terdiri dari barisan tanaman yang rapat memanjang kontur dan bidang olah. Dengan cara ini, lama kelamaan akan terbentuk teras bangku.



Gambar 2.18. Teras Kredit
Sumber: Utomo, 1994: 82

c. Teras Gulud

Teras gulud adalah jenis teras yang dibuat pada lahan kemiringan lerengnya antara 5-15%, dengan bentuk sederhana terdiri dari bibir teras, saluran teras, dan bidang olah.

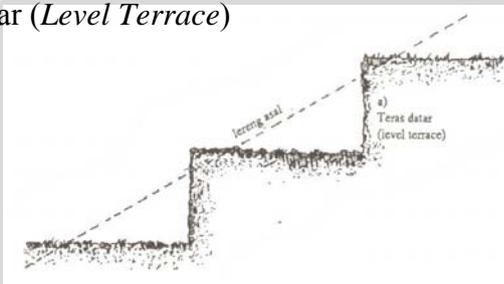


Gambar 2.19. Teras Gulud
Sumber: Utomo, 1994: 82

d. Teras Bangku

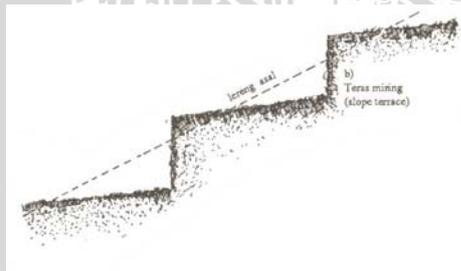
Teras bangku adalah jenis teras yang dibuat pada lahan usaha tani tanaman semusim dengan kemiringan lereng 35% atau kurang, dengan bentuk teras paling sempurna terdiri dari bibir teras, talud, bidang olah, dan saluran teras. Bidang olah dibuat miring ke dalam sebesar 0,2%. Ada berbagai macam teras bangku yang dapat ditemukan di lapangan, antara lain :

1. Teras Bangku Datar (*Level Terrace*)



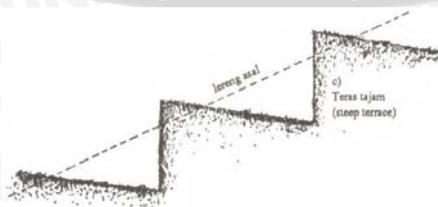
Gambar 2.20. Teras Bangku Datar
Sumber: Utomo, 1994: 84

2. Teras Bangku Miring (*Slope Terrace*)



Gambar 2.21. Teras Bangku Miring
Sumber: Utomo, 1994: 84

3. Teras Bangku Berlawanan Lereng atau Teras Tajam (*Steep Terrace*)



Gambar 2.22. Teras tajam
Sumber: Utomo, 1994: 84

3. Saluran Pembuang Air (SPA)

Untuk menghindari terkonsentrasinya aliran permukaan di sembarang tempat, yang akan membahayakan dan merusak tanah yang dilewatinya, maka perlu dibuatkan jalan khusus berupa saluran pembuang air (*waterways*). Tujuan utama pembangunan saluran pembuang air adalah untuk mengarahkan dan menyalurkan aliran permukaan dengan kecepatan yang tidak erosif ke lokasi pembuangan air yang sesuai. Ada tiga macam saluran pembuang air yang dapat dibuat dalam sistem konservasi tanah dan air, yaitu : saluran pengelak, saluran terras, dan saluran berumput.



Gambar 2.23. Skema SPA tampak depan
Sumber: Utomo, 1989: 75

4. 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.

5. Bangunan *check dam*

Bangunan yang dibuat melintang parit atau selokan yang berfungsi untuk menghambat kecepatan aliran dan menangkap sedimen yang dibawa aliran sehingga kedalaman dan kemiringan parit berkurang (Suripin, 2002 : 129). *Check dam* biasanya dibuat dari bahan lokal yang tersedia, misalnya kayu, tanah, 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.

3. Metode Kimia

Cara kimia yang digunakan adalah dengan polimer pemantap tanah untuk memperbaiki struktur tanah sehingga tanah tahan terhadap erosi, antara lain larutan

PVA (*Poly Vind Alkohol*), PAM (*Polacryamide*). Beberapa cara pemakaian bahan-bahan pemantap tanah adalah :

1. Pemakaian di permukaan tanah.
2. Pemakaian secara dicampur
3. Pemakaian lubang

2.8 Sistem Informasi Geografi (SIG)

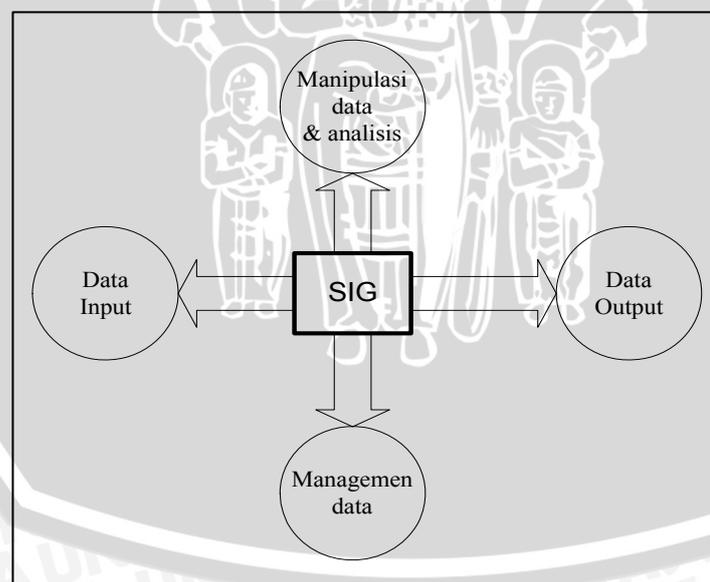
2.8.1 Definisi SIG

SIG adalah suatu sistem berbasis komputer yang memberi 4 (empat) kemampuan untuk menangani data bereferensi geografi, yaitu meliputi pemasukan, pengolahan atau manajemen data (penyimpanan atau pemanggilan kembali), manipulasi dan analisis serta keluaran. (Arronoff, 1989).

2.8.2 Proses Dalam SIG

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

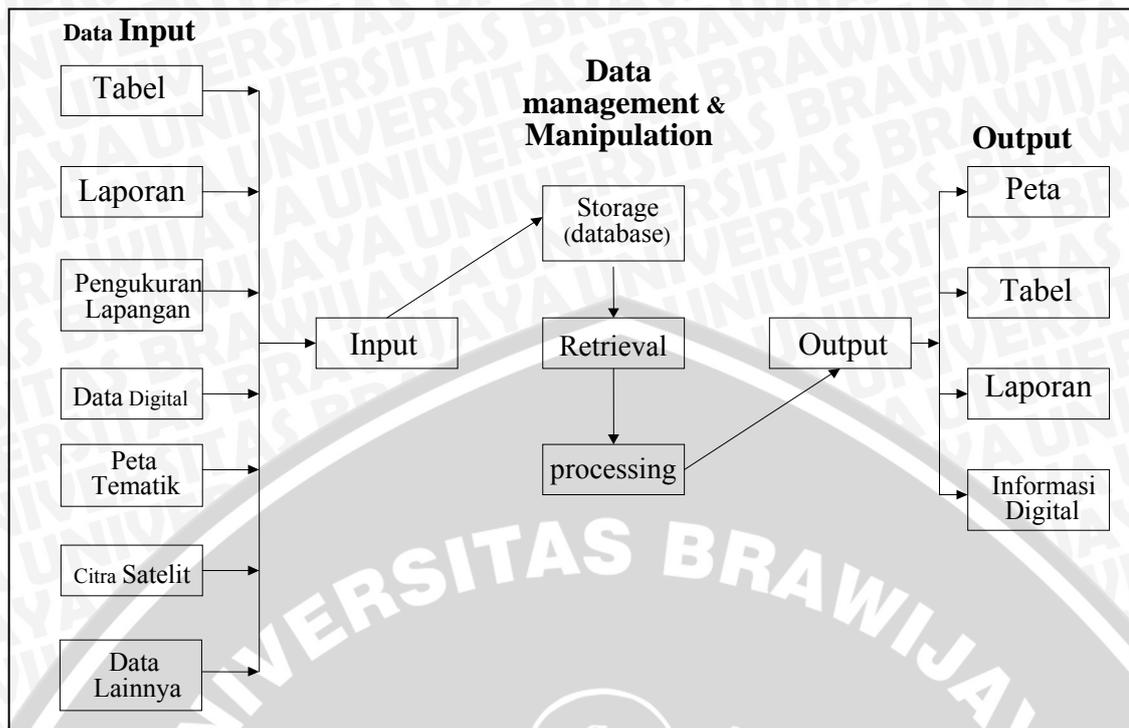
1. Pemasukan data (data input)
2. Manajemen data
3. Manipulasi dan analisis data
4. Keluaran data (data output)



Gambar 2.24 Proses dalam SIG

Sumber : Prahasta, 1989 : 59

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



Gambar 2.25. Uraian Proses dalam SIG

Sumber : Prahasta, 1989 : 59

2.8.3. Jenis data dalam SIG

Data geografi merupakan sekumpulan data yang bisa mempresentasikan permukaan bumi dalam format digital yang bisa dimasukkan dalam SIG. Secara garis besar data geografi dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Data Spasial

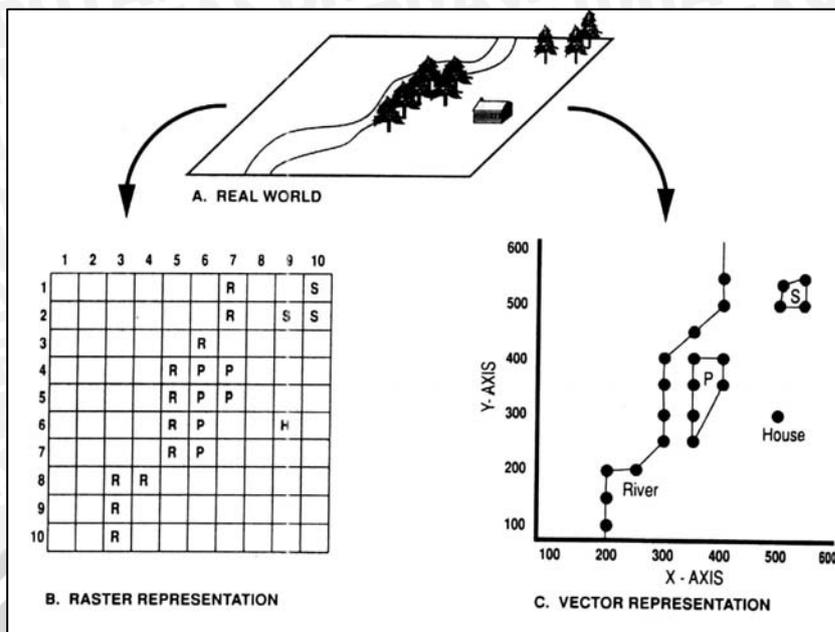
Data spasial merupakan informasi tentang lokasi dan bentuk dari unsur geografi yang disimpan dalam bentuk koordinat. Point, garis dan luasan digunakan untuk merepresentasikan unsur geografi misalnya sungai, waduk dan hutan. Komponen dari data spasial dibedakan menjadi dua yaitu :

- a. Vektor : dalam model data vektor obyek atau kondisi dari bumi ditampilkan dengan point garis dan luasan.
- b. Raster : yaitu struktur data dalam bentuk sel yang terbentuk atas baris dan kolom, setiap sel mempunyai satu nilai dan terisi sebuah informasi.

Untuk lebih jelasnya tentang perbedaan antara data raster dan vektor ditunjukkan dalam gambar berikut.

2. Data Non Spasial (data atribut)

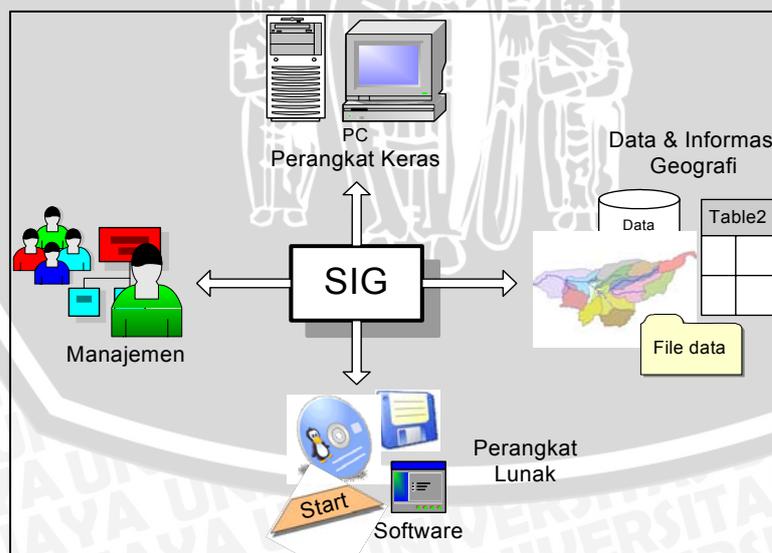
Data atribut menyediakan deskripsi informasi tentang data spasial misalnya nama dari sungai, kapasitas tampungan waduk dan komposisi penggunaan lahan.



Gambar 2.26 Model Data Raster dan Vektor
 Sumber : Stan Aronoff

2.8.4 Komponen SIG

Komponen SIG terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan terdiri atas seperangkat komputer yang berfungsi untuk menyimpan, menampilkan teks dan interaksi dengan pengguna serta meja digitizer yang berfungsi untuk merubah data analog kedalam data digital. Plotter dan printer digunakan untuk menayangkan hasil pemrosesan data yang berupa peta.



Gambar 2.27 Komponen-komponen SIG

Perangkat lunak yang digunakan dalam studi ini adalah PC *Arc/Info versi 3.5* dan *ArcView GIS versi 3.2* yang dikeluarkan oleh *Environmental System Research Institute (ESRI)*.

2.8.5. Pengolahan Data dengan SIG

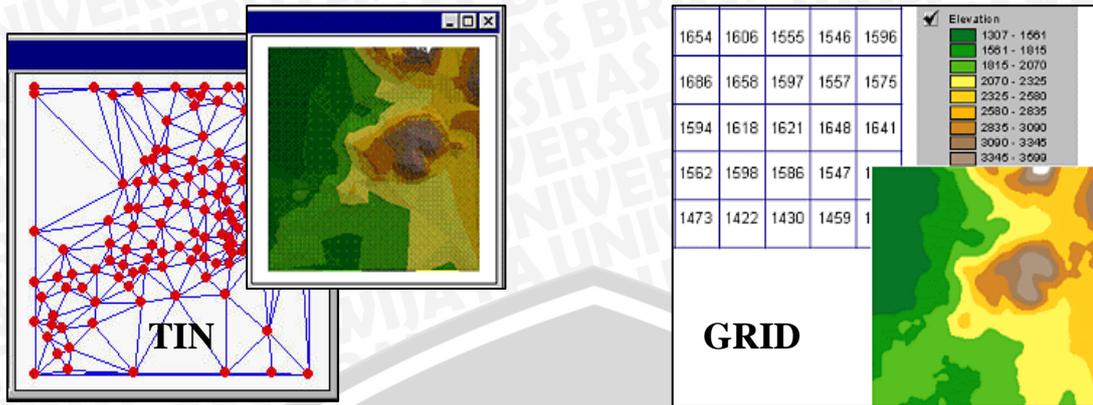
2.8.5.1. Pemasukan Data

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.

2.8.5.2. 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 sungai, atau menentukan jaringan sungai sintetik yang selanjutnya bisa digunakan untuk menganalisa respon hidrologi pada DAS tersebut, misal besarnya limpasan permukaan dan sedimentasi.

Terdapat beberapa metode untuk menggambarkan bentuk permukaan bumi dalam model permukaan *digital*, antara lain model *grid*, *TIN (Triangulated Irregular Network)*, *Cellular automata (CA)*. Model data grid/raster menyajikan permukaan bumi dalam matriks atau piksel-piksel kecil berbentuk bujur sangkar yang mewakili luasan yang sebenarnya pada permukaan bumi. Setiap piksel dalam model ini memiliki atribut ketinggian (elevasi) masing-masing. *TIN* menyajikan model permukaan sebagai sekumpulan bidang-bidang kecil (*facet*) berbentuk segi tiga yang saling berhubungan dari titik-titik yang memiliki atribut koordinat horizontal (x,y) dan koordinat vertikal (elevasi). Sedangkan *Cellular automata (CA)* menyajikan dalam bentuk segitiga, segiempat atau segienam beraturan.



Gambar 2.28. Tipe model Digital Elevation Model (DEM)

Dari berbagai metode tersebut yang paling sering digunakan adalah DEM dengan model data grid, karena dianggap mudah dalam penggunaan dalam penggunaannya. Model data grid memiliki sel-sel yang bentuknya beraturan dan luasan yang sama, sehingga memudahkan dalam penerapan rumus atau perhitungan serta analisa lebih lanjut.

2.8.5.3. Pemodelan Daerah Aliran Sungai

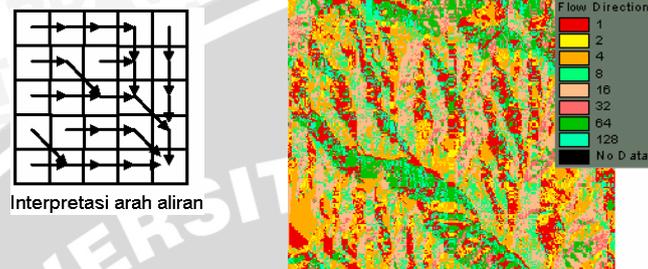
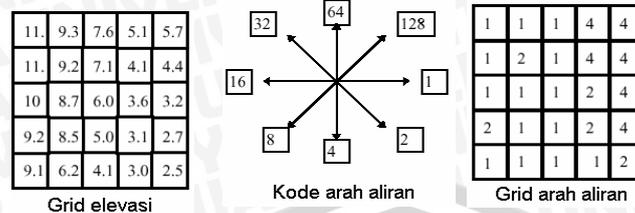
Model permukaan digital dengan format grid yang dikenal dengan bentuk sel yang beraturan (bujur sangkar), memungkinkan untuk dianalisa lebih lanjut diantaranya untuk mendapatkan skema dan parameter topografi suatu Daerah Aliran Sungai. Pemodelan DAS dari suatu grid adalah dengan memanfaatkan kemampuan analisa dan manipulasi dalam Sistem Informasi Geografi (SIG), yaitu melalui penerapan algoritma tertentu untuk memanipulasi hubungan suatu *cell* dengan *cell-cell* tetangganya.

Untuk mendapatkan model DAS dari suatu DEM, maka terlebih dahulu ditentukan arah aliran dan akumulasi aliran pada sel-sel DEM tersebut.

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 dari suatu sel setelah kemiringan

relatif dari 8 sel sekitarnya dibandingkan adalah ke arah kiri (barat), maka arah aliran pada sel tersebut dikodekan dengan angka 16.



Gambar 2.29. Penentuan arah aliran pada grid DEM

b). Akumulasi aliran (Flow accumulation)

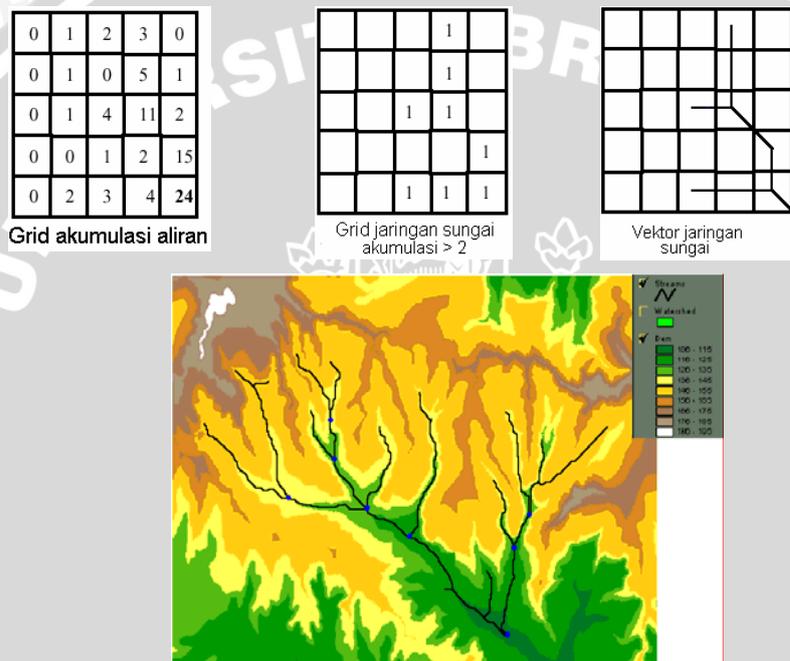
Akumulasi aliran didefinisikan sebagai banyaknya sel yang memberikan kontribusi aliran pada suatu sel berdasarkan grid arah aliran yang telah ditentukan sebelumnya. Penjumlahan akumulasi aliran ini dimulai dari daerah hulu, lalu menelusuri tiap sel satu per satu ke arah hilir berdasarkan grid arah aliran. 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-punggungan bukit yang selanjutnya diidentifikasi sebagai batas DPS. Sedangkan sel-sel dengan jumlah akumulasi aliran tinggi, biasanya mengidentifikasi saluran sungai.



Gambar 2.30. Perhitungan komulatif aliran (flow accumulation)

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. 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.



d). Parameter Daerah Aliran Sungai

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. 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.

2.8.5.4. Analisa dan Manipulasi Data

Kemampuan SIG dapat juga dikenali dari fungsi-fungsi analisis yang dapat dilakukannya. Secara umum terdapat dua jenis fungsi analisis dalam SIG yang meliputi fungsi analisis spasial dan fungsi analisis atribut.

Fungsi analisis data atribut terdiri dari operasi dasar sistim pengelolaan basis data/*database management system* (DBMS) dan perluasannya yang meliputi :

1. Operasi dasar basis data yang mencakup :
2. Perluasan operasi basis data :

Fungsi analisis spasial dari SIG terdiri dari :

1. Klasifikasi (*reclassificasy*) : fungsi ini mengklasifikasikan atau mengklasifikasikan kembali suatu data spasial atau atribut menjadi data yang baru dengan menggunakan kriteria tertentu.
2. Jaringan (*network*) : Fungsi ini sering digunakan dalam bidang transportasi dan utility misalnya : aplikasi jaringan kabel, jaringan listrik, telepon, pipa air, saluran pembuangan.
3. Tumpang susun (*overlay*) : fungsi ini menghasilkan data spasial baru dari minimal dua data spasial yang menjadi masukkannya. Terdapat 5 cara melakukan tumpang susun data grafis yang dapat dilakukan pada perangkat lunak *Arc/Info* dan *ArcView* yaitu : *Identity, Union, Intersection, Update, Clipping, Buffering*.
4. 3D *analisis* : 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, jaringan jalan dan lainnya dalam bentuk 3 dimensi.
5. *Digital Image Processing* : fungsi ini dimiliki oleh SIG yang berbasis raster didapat dari perekaman data satelit maupun foto udara yang berformat raster.

2.8.5.5. Keluaran Data

Keluaran data dari SIG adalah seperangkat prosedur yang digunakan untuk menampilkan informasi dari SIG dalam bentuk yang disesuaikan dengan pengguna. Keluaran data terdiri dari tiga bentuk, yaitu cetakan, tayangan dan data digital.

Bentuk cetakan dapat berupa peta maupun tabel yang dicetak dengan media kertas, film atau media lain. Bentuk tayangan berupa tampilan gambar di monitor komputer. Keluaran data dalam bentuk data digital berupa file yang dapat dibaca oleh komputer. Bentuk data digital digunakan untuk memindahkan data ke sistem komputer yang lain ataupun untuk menghasilkan cetakan d





















i lain tempat.

