

## 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)

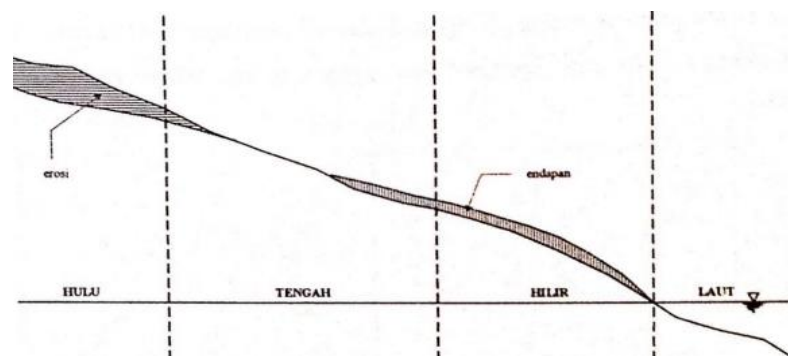
DAS dibatasi oleh punggung-punggung bukit atau pegunungan dimana air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju ke sungai utama pada suatu titik atau stasiun yang ditinjau. DAS ditentukan dengan menggunakan peta topografi yang dilengkapi oleh garis-garis kontur. Limpasan permukaan pada DAS berasal dari titik-titik tertinggi dan bergerak menuju titik-titik yang lebih rendah dalam arah tegak lurus dengan garis-garis kontur (Bagas Destyawan, 2018). Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya yang berfungsi untuk menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan mengalir menuju ke danau atau ke laut secara alami dengan batas di daratnya merupakan pemisah topografis dan batas laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan (Peraturan Pemerintah No. 37, 2012).

Pengelolaan DAS adalah upaya manusia dalam mengatur hubungan timbal balik antara sumber daya alam dengan manusia didalam DAS dan segala aktivitasnya, sehingga terwujudnya kelestarian dan keserasian ekosistem serta meningkatnya kemanfaatan sumber daya alam bagi manusia secara berkelanjutan. Tujuan pengelolaan DAS yaitu untuk memperbaiki, memelihara, dan melindungi keadaan DAS agar dapat menghasilkan kualitas dan kontinuitas air (*water yield*) untuk berbagai kepentingan. Keberhasilan dalam pengelolaan suatu DAS diindikasikan dengan memperkecil fluktuasi debit, beban sedimen sungai, dan terjaganya sumber-sumber air. Sesuai dengan ketentuan Pasal 3 Undang-Undang Nomor 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan dalam (Peraturan Pemerintah No. 37, 2012), dengan terjadinya banjir, tanah longsor, erosi, sedimentasi, dan kekeringan yang dapat mengakibatkan terganggunya perekonomian dan tata kehidupan masyarakat, maka perlu meningkatkan daya dukung DAS.

DAS yang dipertahankan daya dukungnya adalah DAS yang memiliki kondisi lahan serta kualitas, kuantitas dan kontinuitas air, sosial ekonomi, investasi bangunan

air dan pemanfaatan ruang wilayah tidak berfungsi sebagaimana mestinya (Peraturan Pemerintah No. 37, 2012). Alur sungai pada DAS dibagi menjadi tiga bagian (Fauzi, 2022), yaitu:

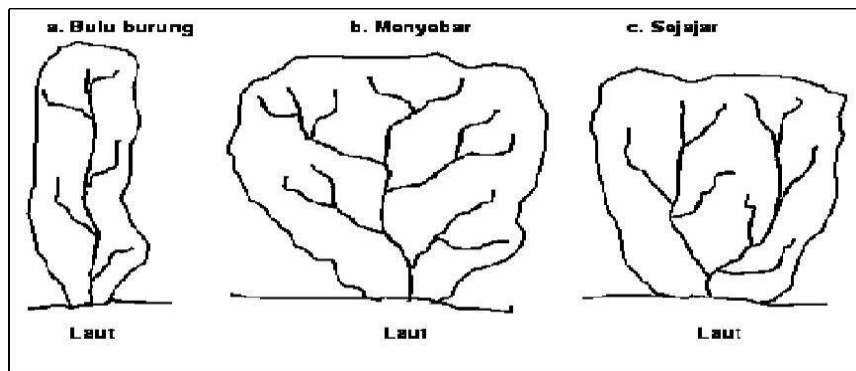
1. Bagian Hulu merupakan daerah sumber erosi dikarenakan pada umumnya alur sungai di bagian hulu melalui daerah pengunungan, bukit, atau lereng gunung yang terkadang memiliki ketinggian relatif besar dari muka air laut serta memiliki kerapatan drainase lebih tinggi, dan kemiringan lereng besar (lebih besar dari 15%). Alur sungai yang terdapat di bagian hulu umumnya memiliki kecepatan yang lebih besar daripada bagian hilirnya.
2. Bagian Tengah merupakan daerah transisi (peralihan) dari bagian hulu dan hilir dengan kemiringan dasar sungai yang lebih landai, sehingga kecepatan alirannya relatif lebih kecil dari bagian hulu. Bagian tengah ini merupakan daerah keseimbangan antara proses erosi dan sedimentasi yang bervariasi dari setiap musim.
3. Bagian Hilir merupakan daerah pemanfaatan yang umumnya melalui daratan dengan kemiringan dasar sungai landai sehingga kecepatan alirannya lambat, serta memiliki kerapatan drainase lebih kecil, dan kemiringan lereng kecil sampai dengan sangat kecil (kurang dari 8%). Keadaan seperti ini sangat memudahkan terbentuknya pengendapan (sedimen) dengan endapan yang terbentuk umumnya berupa endapan pasir halus, lumpur, endapan organik, dan jenis endapan lain yang sangat labil.



Gambar 2.1 Sketsa Profil Memanjang Alur Sungai

Sumber: (Sosrodarsono & Takeda, 2003)

Daerah Aliran Sungai (DAS) dianggap sebagai bagian dari permukaan bumi yang merupakan tempat mengalirnya air hujan menjadi aliran permukaan dan menampungnya di sungai menjadi aliran sungai yang menuju ke suatu titik di bagian hilir sebagai titik pengeluaran. Setiap DAS besar yang bermuara di laut merupakan gabungan dari beberapa DAS, sedangkan sub-DAS merupakan gabungan dari beberapa sub-DAS kecil. Berdasarkan perbedaan-perbedaan yang ada, seperti debit banjir, corak banjir, debit pengaliran dasar, dan sebagainya (Verrina dkk., 2013). Bentuk atau corak DAS dapat dibedakan menjadi beberapa macam, yaitu bentuk bulu burung, radial, dan paralel dengan gambar dari setiap bentuk atau corak DAS (Universitas Brawijaya, 2002), seperti dibawah ini.



Gambar 2.2 Bentuk-Bentuk DAS

Sumber: (Dian, 2016)

1. Daerah Aliran Memanjang (Bulu Burung)

Daerah pengaliran yang memiliki jalur di bagian kiri dan kanan sungai utama, dimana anak-anak sungai mengalir ke sungai utama. Daerah pengaliran bulu burung ini memiliki debit banjir yang cenderung kecil dikarenakan waktu prediksi banjir datang dari anak-anak sungainya berbeda. Namun, banjir yang terjadi cenderung berlangsung lama.

2. Daerah Aliran Radial

Daerah pengaliran ini berbentuk kipas atau lingkaran, dimana anak-anak sungainya memusat pada suatu titik secara radial. Daerah pengaliran radial ini memiliki debit banjir yang besar dan terjadi didekat titik pertemuan anak-anak sungai.

### 3. Daerah Aliran Paralel

Daerah pengaliran ini memiliki bentuk atau corak dimana memiliki dua jalur daerah pengaliran yang menjadi satu di bagian hilir. Dan banjir terjadi di bagian hilir titik pertemuan sungai.

## 2.2 Analisis Hidrologi

### 2.2.1 Metode Estimasi Data Curah Hujan Hilang

Data curah hujan diperoleh dari tiap stasiun umumnya merupakan data yang lengkap. Namun, seringkali terdapat data curah hujan yang tidak lengkap dikarenakan dalam pengukuran curah hujan terjadi masalah, seperti tidak tercatatnya data hujan karena kesalahan manusia, alat, dan bencana alam. Beberapa metode yang dapat digunakan dalam menghitung data curah hujan hilang (Prawaka dkk., 2016), yaitu:

#### 1. Metode Konvensional (Rata-rata)

Pengukuran dilakukan pada beberapa stasiun dalam waktu bersamaan dijumlahkan dan dibagi dengan jumlah stasiun yang saling berdekatan. Persamaannya dapat dihitung sebagai berikut:

$$P = \frac{P1 + P2 + P3 + \dots + Pn}{n} \quad (2.1)$$

Dengan:

P = Curah hujan hilang (mm).

P1, P2, P3, ..., Pn = Hujan titik stasiun pada stasiun 1, 2, 3, ..., n.

n = Jumlah titik stasiun.

#### 2. Metode Normal Ratio

Variabel yang diperhitungkan yaitu curah hujan harian dan jumlah curah hujan selama satu tahun pada stasiun lain. Metode ini memperhitungkan data curah hujan pada stasiun yang saling berdekatan guna mencari data curah hujan yang hilang pada stasiun tersebut. Persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$Px = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P1 \frac{Nx}{N1} \quad (2.2)$$

Dengan:

$P_x$	=	Data tinggi hujan maksimum di stasiun x.
$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$	=	Data tinggi hujan harian maksimum di stasiun i.
$N_x$	=	Hujan rata-rata tahunan di stasiun x.
$N_1, N_2, N_3, \dots, N_n$	=	Hujan rata-rata tahunan di stasiun sekitar stasiun x.
$n$	=	Jumlah stasiun di sekitar x.

### 3. Metode *Inversed Square Distance*

Memperhitungkan variabel antara jarak stasiun terdekat dengan stasiun yang data curah hujannya tidak lengkap. Menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_x = \frac{\frac{1}{(dXa)^2} Pa + \frac{1}{(dXb)^2} Pb + \dots + \frac{1}{(dXn)^2} Pn}{\frac{1}{(dXa)^2} + \frac{1}{(dXb)^2} + \dots + \frac{1}{(dXn)^2}} \quad (2.3)$$

Dengan:

$P_x$	=	Tinggi hujan yang dipertanyakan.
$P_a, P_b, \dots, P_n$	=	Tinggi hujan pada stasiun di sekitarnya.
$dXa, dXb, \dots, dXn$	=	Jarak stasiun x terhadap masing-masing stasiun a, b, c, n.

### 2.2.2 Uji Konsistensi Curah Hujan

Uji konsistensi data curah hujan digunakan dalam mengetahui kebenaran data yang ada di lapangan, saat dilakukan pengukuran ataupun setelah dilakukan perhitungan curah hujan hilang. Pengukuran curah hujan seringkali mengalami masalah, sebagai contoh tidak tercatatnya data hujan dikarenakan rusaknya alat atau kesalahan pengamatan, maupun karena adanya perubahan kondisi yang terjadi di lokasi pencatatan selama suatu periode pencatatan. Data hujan yang hilang pada suatu stasiun dapat dilengkapi dengan menggunakan nilai perkiraan berdasarkan data dari stasiun-stasiun di sekitarnya (Irawan dkk., 2020). Metode yang digunakan agar data curah hujan tahunan yang dimiliki oleh stasiun lain dapat terkoreksi, yaitu metode kurva massa ganda (*Double Mass Curve*) dimana dalam metode ini dilakukan pendekatan analisis data untuk menguji konsisten atau tidaknya data curah hujan.

Nilai kumulatif data yang diuji (Stasiun X) dibandingkan dengan nilai kumulatif seri data stasiun rerata lainnya. Selanjutnya dilakukan koreksi data hujan menggunakan metode analisis regresi dan korelasi hingga menghasilkan koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang mendekati angka 1 (satu) (Triatmodjo, 2008). Secara umum, persamaan regresi dituliskan sebagai berikut:

$$\bar{y} = a + bX \quad (2.4)$$

Dimana:

Y = Variabel dependen.

X = Variabel independen.

a = Konstanta.

b = Koefisien regresi.

Dengan,

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (2.5)$$

$$a = \frac{\sum Y \sum X^2 - \sum X \sum XY}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (2.6)$$

Persamaan korelasi secara umum dituliskan sebagai berikut:

$$R = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{(n \sum X^2 - (\sum X)^2)(n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \quad (2.7)$$

Dimana:

Y = Data komulatif stasiun rerata.

X = Data komulatif stasiun X.

n = Banyaknya sampel.

Kriteria dari koefisien korelasi nilai  $R^2$  menurut Jonathan Sarwono dalam (Fauzi, 2022) terdapat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Kriteria Koefisien Korelasi

Nilai $R^2$	Kriteria
>0 – 0,25	Sangat Lemah
>0,25 – 0,5	Cukup
>0,5 – 0,75	Kuat
>0,75 – 0,99	Sangat Kuat
1	Sempurna

Sumber: (Fauzi, 2022)

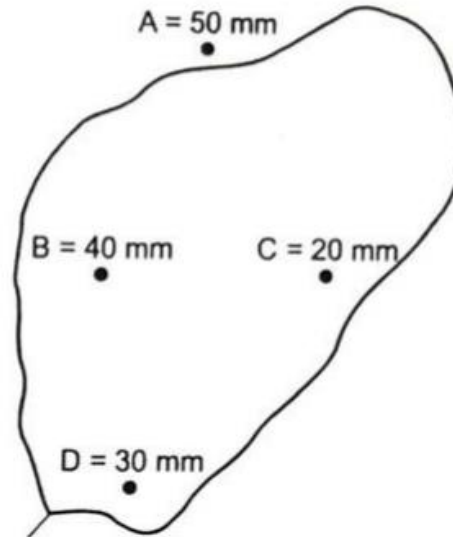
### 2.2.3 Rerata Curah Hujan Tahunan

Curah hujan merupakan ketinggian dari air hujan yang terkumpul dalam tempat datar, tidak menguap, tidak meresap, dan tidak mengalir. Satuan curah hujan dinyatakan dalam satuan milimeter (mm) atau inchi (Inch). Menurut (Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial, 2013), normal curah hujan rerata tahunan dibagi menjadi lima kategori, yaitu sangat rendah (<1500 mm), rendah (1500 - <2000 mm), sedang (2000 - <2500 mm), tinggi (2500 - <3000 mm), dan sangat tinggi ( $\geq 3000$  mm).

Pada pengamatan curah hujan, stasiun penakar hujan menghasilkan data kedalaman curah hujan yang berada pada titik stasiun tersebut. Jika terdapat lebih dari satu stasiun pengukuran yang terletak secara berjauhan (acak) di satu daerah, maka hujan yang tercatat pada masing-masing stasiun tidaklah sama. Oleh karena itu, diperlukan analisis hidrologi untuk menentukan hujan rerata pada daerah tersebut (Triatmodjo, 2008). Perhitungan hujan rerata dapat dilakukan dengan menggunakan tiga metode, yaitu:

#### 1. Metode Rerata Aritmatik (Aljabar)

Metode ini melakukan pengukuran pada beberapa stasiun dalam waktu bersamaan lalu dijumlahkan dan dibagi dengan jumlah stasiun yang ada. Perhitungan menggunakan stasiun hujan yang berada di dalam DAS, namun apabila stasiun berada diluar DAS dan masih berdekatan dapat diperhitungkan.



Gambar 2.3 Metode Rerata Aritmatik (Aljabar)

Sumber: (Triatmodjo, 2008)

Persamaan yang digunakan dalam metode rerata aritmatik sebagai berikut:

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n} \quad (2.8)$$

Dengan:

$P$  = Hujan rerata kawasan (mm).

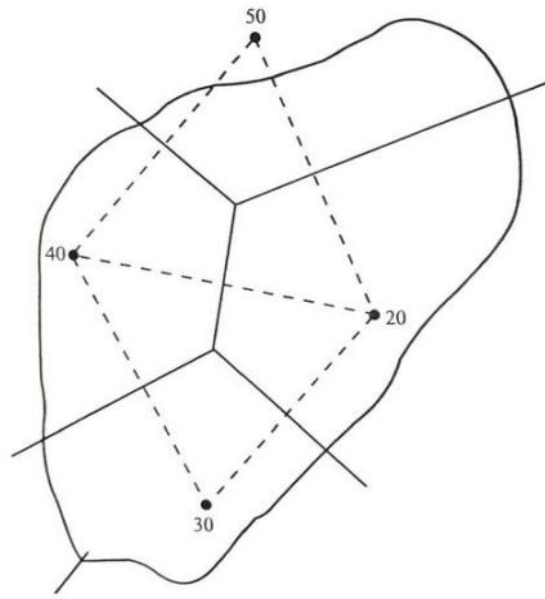
$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  = Hujan di stasiun 1, 2, 3, ..., n.

$n$  = Jumlah stasiun.

## 2. Metode Poligon Thiessen

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan masing-masing bobot stasiun hujan yang mewaliki luasan di sekitarnya. Apabila luasan berada di dalam DAS maka dianggap bahwa curah hujan yang turun adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun terdekat, sehingga curah hujan yang tercatat pada stasiun hujan mewakili luasan tersebut. Metode Thiessen digunakan jika penyebaran stasiun hujan yang berada di daerah tinjauan tidak merata.





Gambar 2.4 Metode Poligon Thiessen

Sumber: (Triatmodjo, 2008)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung hujan rerata pada metode ini sebagai berikut:

$$P = \frac{A_1 P_1 + A_2 P_2 + \dots + A_n P_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.9)$$

Dengan:

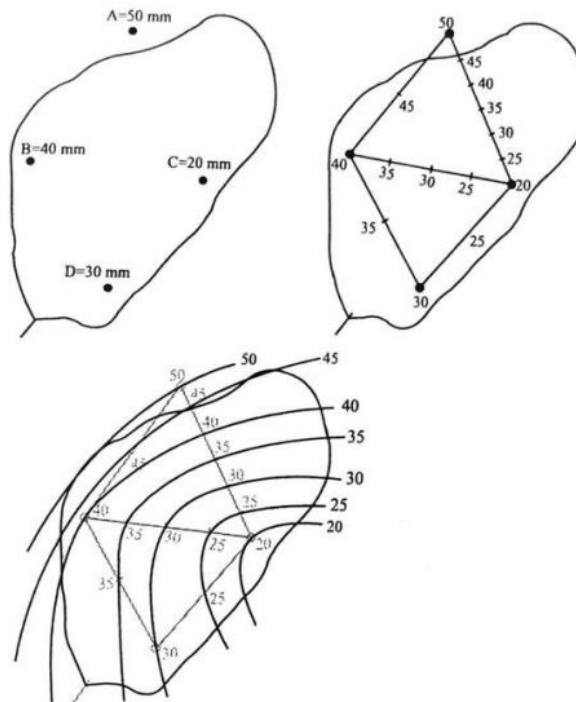
$P$  = Hujan rerata kawasan (mm).

$P_1, P_2, , \dots, P_n$  = Hujan pada stasiun 1, 2, 3, ..., n.

$A_1, A_2, \dots, A_n$  = Luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, ..., n.

### 3. Metode Isohiet

Isohiet merupakan garis yang menghubungkan titik-titik yang memiliki kedalaman hujan sama. Metode ini menganggap hujan pada suatu daerah yang berada diantara dua garis isohiet adalah merata atau sama dengan nilai rerata dari kedua garis isohiet tersebut dan merupakan cara yang paling teliti untuk memperhitungkan kedalaman dari hujan rerata di suatu daerah, tetapi membutuhkan pekerjaan dan perhatian lebih banyak dibandingkan dua metode lainnya.



Gambar 2.5 Metode Isohiet

Sumber: (Triatmodjo, 2008)

Secara matematis persamaan metode ini dapat ditulis sebagai berikut:

$$P = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + \dots + A_n \frac{I_n + I(n+1)}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.10)$$

Atau

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \frac{I_i + I(i+1)}{2}}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2.11)$$

Dengan:

$P$  = Hujan rerata kawasan (mm).

$I_1, I_2, , \dots, I_n$  = Hujan pada stasiun 1, 2, 3, ..., n, n+1.

$A_1, A_2, \dots, A_n$  = Luas daerah yang dibatasi oleh garis isohiet ke 1 dan 2, 2 dan 3, ..., n dan n+1.

## **2.3 Erosi**

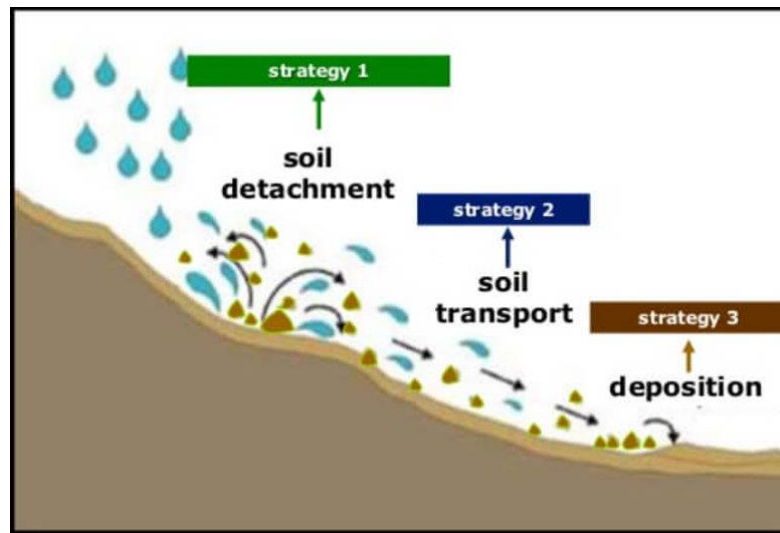
### **2.3.1 Pengertian Erosi**

Erosi adalah proses hilang atau terkikisnya bagian tanah dari suatu tempat ke tempat lainnya. Erosi juga menyebabkan hilangnya lapisan tanah subur serta berkurangnya kemampuan tanah untuk menyerap dan menahan air yang baik untuk tanaman. Proses terjadinya erosi tanah meliputi tiga tahapan, yaitu tahap pelepasan partikel tunggal dari massa tanah dan tahap pengangkutan oleh media yang erosif (aliran air dan angin). Apabila kondisi energi yang tersedia tidak lagi cukup untuk mengangkut partikel-partikel yang dibawa oleh aliran erosi, maka akan dilanjutkan dengan tahapan yang terakhir, yaitu tahap pengendapan (Arsyad, 2010). Prediksi tingkat bahaya erosi pada wilayah DAS yang diakibatkan oleh perubahan penutupan lahan telah banyak dilakukan melalui pendekatan model hidrologi, yaitu metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE) dengan memanfaatkan sistem informasi geografis.

Laju erosi pada Daerah Aliran Sungai (DAS) dikendalikan oleh kecepatan aliran air dan sifat sedimennya. Secara terperinci, faktor-faktor penyebab erosi terdiri dari iklim (curah hujan yang tinggi), tanah (kesuburan tanah, ketahanan agregat, dan kapasitas infiltrasi), topografi dan kelerengan, vegetasi, serta aktivitas manusia yang menyebabkan kecepatan dari aliran air sungai menjadi lambat sehingga terjadi luapan air yang muncul menjadi sedimentasi di bagian hilir DAS (Arsyad, 2010 dalam (Kadir dkk., 2020)).

### **2.3.2 Proses Terjadinya Erosi**

Faktor utama erosi di daerah tropis yang lembab seperti Indonesia yaitu air, sedangkan untuk daerah panas yang kering maka angin merupakan faktor penyebab utamanya. Erosi tanah mencakup tiga tahapan atau proses yang berurutan (Candra & Pratiwi, 2010) terdiri dari:



Gambar 2.6 Tahapan Erosi

Sumber: (Ikhsani, 2023)

1. Tahap Pelepasan (*Detachment*)

Terjadi saat percikan butiran air hujan mengenai permukaan tanah yang gundul, sehingga menyebabkan partikel tanah terlepas dan terlempar ke udara. Partikel-partikel tanah yang terlempar tersebut jatuh kembali ke bumi karena adanya gravitasi bumi. Proses ini dilanjutkan dengan tahap pengangkutan (*transportation*).

2. Tahap Pengangkutan (*Transportation*)

Pada kondisi lahan miring, partikel-partikel tanah tersebut tersebar ke arah bawah searah dengan lereng. Partikel tanah yang terlepas akan menyumbat pori-pori tanah sehingga menimbulkan pembentukan lapisan tanah keras pada lapisan permukaan. Hal ini mengakibatkan turunnya kapasitas dan laju infiltrasi tanah, maka akan mengakibatkan terjadinya genangan. Proses selanjutnya, yaitu pengendapan.

3. Tahap Pengendapan (*Deposition*)

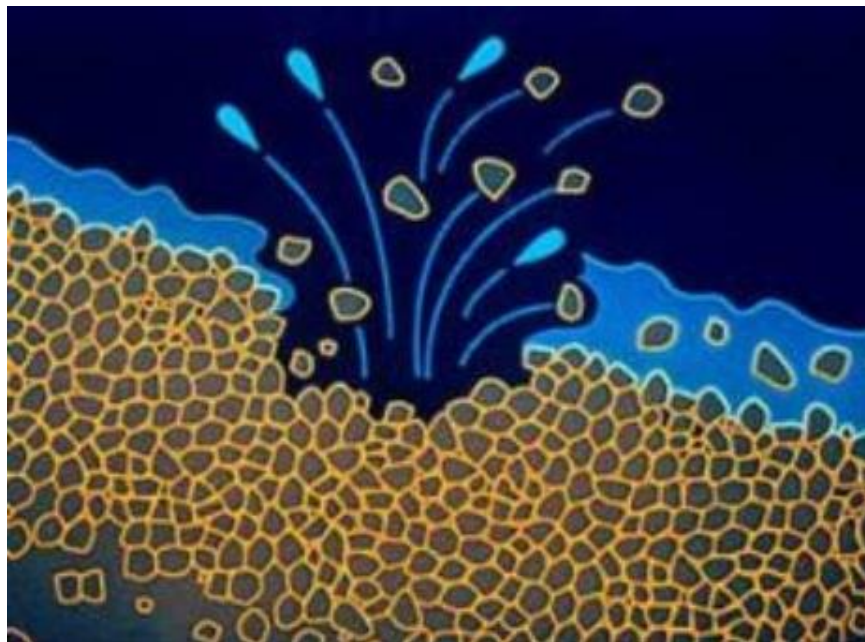
Saat intensitas hujan melebihi laju infiltrasi, maka akan terjadi genangan air di permukaan tanah yang kemudian menjadi aliran permukaan. Aliran ini menyediakan energi untuk mengangkut partikel yang terlepas oleh percikan air hujan maupun aliran permukaan. Pada saat energi aliran permukaan menurun dan

tidak lagi mampu untuk mengangkut partikel tanah yang terlepas, maka tanah tersebut akan mengendap baik untuk sementara atau tetap. Proses pengendapan terjadi pada lereng yang bergelombang (cekung).

### 2.3.3 Bentuk-Bentuk Erosi

Menurut (Arsyad, 2010) dari segi bentuknya erosi dibedakan menjadi 7 (tujuh) macam tipe erosi, yaitu:

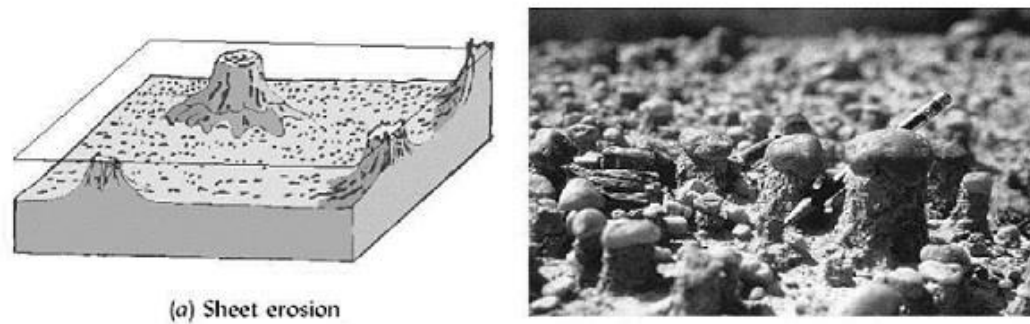
1. Erosi percikan (*splash erosion*) adalah proses terlepas atau terlemparnya partikel-partikel tanah dari massa tanah akibat pukulan butiran air hujan yang mengenai permukaan bumi secara langsung.



Gambar 2.7 Erosi Percikan (*Splash Erosion*)

Sumber: (Ikhsani, 2023)

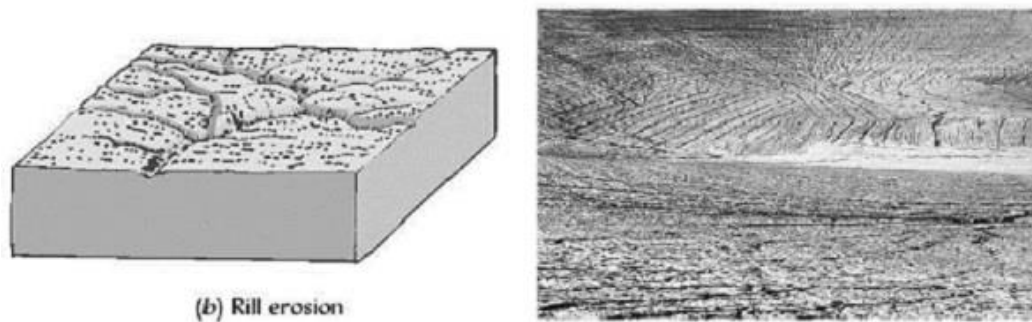
2. Erosi lembar (*sheet erosion*) merupakan pengangkutan suatu lapisan tanah yang tebalnya merata dari suatu permukaan tanah. Erosi ini disebut juga sebagai erosi kulit karena tipisnya lapisan permukaan tanah yang berada di daerah lereng terkikis oleh kombinasi air hujan dan *runoff*.



Gambar 2.8 Erosi Lembar (*Sheet Erosion*)

Sumber: (Ikhsani, 2023)

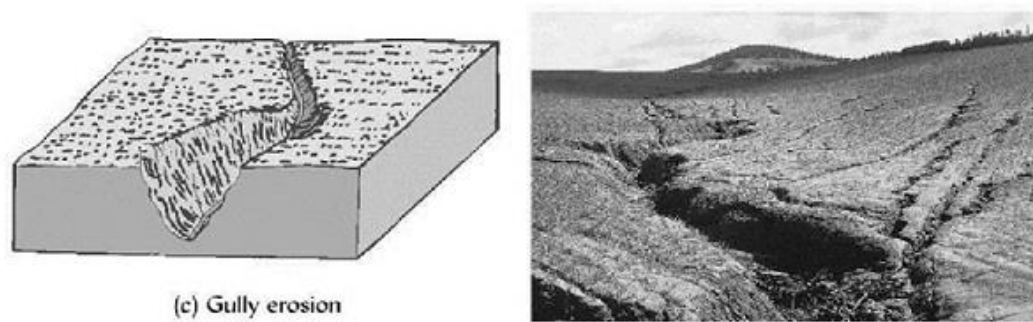
3. Erosi alur (*rill erosion*) adalah proses pengangkutan tanah dari alur tertentu yang menyebabkan timbulnya parit-parit kecil dan dangkal. Erosi ini terjadi karena air mengalir pada permukaan tanah yang tidak rata, sehingga pengangkutan tanah hanya terjadi tepat pada aliran yang terkonsentrasi.



Gambar 2.9 Erosi Alur (*Rill Erosion*)

Sumber: (Ikhsani, 2023)

4. Erosi parit (*gully erosion*) merupakan proses pengangkutan tanah membentuk jajaran parit yang lebih dalam dan lebar, serta merupakan tingkat lanjutan dari erosi alur. Umumnya memiliki lebar 40 cm dan kedalaman 30 m, serta berbentuk V atau U tergantung pada kepekaan erosi substratnya.



(c) Gully erosion

Gambar 2.10 Erosi Parit (*Gully Erosion*)

Sumber: (Ikhsani, 2023)

5. Erosi tebing sungai (*river bank erosion*) merupakan erosi yang terjadi akibat pengikisan tebing oleh air yang mengalir dari atas tebing atau oleh terjangan arus sungai yang kuat terutama pada tikungan.

Gambar 2.11 Erosi Tebing Sungai (*River Bank Erosion*)

Sumber: (Ikhsani, 2023)

6. Erosi internal (*internal or subsurface erosion*) merupakan proses terangkutnya partikel tanah yang masuk ke bawah celah-celah atau pori-pori akibat adanya aliran bawah permukaan.





Gambar 2.12 Erosi Internal (*Internal Or Subsurface Erosion*)

Sumber: (Guru Geografi, 2016)

7. Tanah longsor (*land slide*) merupakan erosi yang perpindahan tanahnya terjadi disaat bersamaan dan dalam volume yang besar.



Gambar 2.13 Tanah Longsor (*Land Slide*)

Sumber: (Yohanes, 2019)

Pada umumnya erosi lembar, alur, parit, dan tebing sungai menyebabkan kerusakan tanah dan mengakibatkan produktivitas tanah menurun. Sedangkan erosi berat seperti longsor dapat mengakibatkan bencana alam apabila tanah yang berada



diatasnya digunakan secara intensif (terus-menerus) untuk kehidupan manusia, seperti pemukiman, jaringan jalan, dan sebagainya.

#### **2.4 Metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE)**

Metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE) merupakan salah satu model prediksi erosi yang masih digunakan hingga saat ini. Metode USLE adalah suatu model erosi yang dibuat untuk memprediksi erosi rata-rata dalam jangka panjang dari erosi lembar atau alur di bawah keadaan tertentu. Metode ini bermanfaat untuk tanah bangunan dan penggunaan non-pertanian, tetapi tidak dapat memprediksi pengendapan dan tidak memperhitungkan hasil sedimen dari erosi parit, tebing, sungai, dan dasar sungai. Metode USLE memungkinkan untuk melakukan pendugaan laju rata-rata erosi pada suatu bidang tanah tertentu di suatu kemiringan lereng dengan pola hujan tertentu pada setiap macam penanaman dan tindakan pengelolaan yang mungkin dilakukan atau yang sedang digunakan (Arsyad, 2010:366 dalam (Azri, 2012)). Persamaan USLE (Wischmeier & Smith, 1978:4 dalam (Azri, 2012)) dapat dilihat sebagai berikut:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (2.12)$$

Dengan:

- A = Banyaknya tanah yang tererosi (ton/ha/tahun).
- R = Faktor curah hujan dan aliran permukaan.
- K = Faktor erodibilitas tanah yaitu laju erosi per unit indeks erosi untuk suatu tanah yang diperoleh dari petak homogen dengan panjang 72,6 kaki (22 m) terletak pada lereng 9% tanpa tanaman.
- LS = Faktor panjang dan kemiringan lereng.
- C = Faktor vegetasi penutup tanah dan pengelolaan tanaman.
- P = Faktor tindakan konservasi tanah.

Dari hasil perhitungan menggunakan metode USLE menghasilkan suatu dugaan erosi tanah pada setiap satuan lahan yang ada di DAS. Kemudian, nilai tersebut dikelompokkan berdasarkan 5 kriteria klasifikasi bahaya erosi yang akan

menghasilkan persentasi luasan dari tiap pengelompokkan kelas bahaya erosi tersebut. Kriteria klasifikasi bahaya erosi dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 2.2 Klasifikasi Kelas Bahaya Erosi

Kelas	Besaran Erosi (ton/ha/tahun)	Keterangan
I	<15	Sangat Ringan
II	15 – 60	Ringan
III	60 – 180	Sedang
IV	180 – 480	Berat
V	>480	Sangat Berat

Sumber: (Kironoto, 2003 dalam (Oktasandi dkk., 2019))

#### 2.4.1 Erosivitas Hujan (R)

Erosivitas hujan merupakan kemampuan hujan dalam menimbulkan erosi terhadap tanah. Faktor penentu dari erosivitas hujan antara lain intensitas hujan, diameter butir-butir hujan, kecepatan jatuhnya butir hujan, dan faktor kecepatan angin (Oktasandi dkk., 2019). Satuan indeks erosivitas hujan merupakan perkalian antara energi hujan total (E) dengan intensitas hujan maksimum 30 menit ( $I_{30}$ ) (KJ/ha). Nilai R sendiri merupakan daya rusak hujan atau erosivitasnya. Metode perhitungan erosivitas hujan dapat dilakukan dengan menggunakan rumus Lenvain (Peraturan Menteri Kehutanan RI, 2009) untuk data curah hujan bulanan rata-rata, dengan persamaan sebagai berikut:

$$R_m = 2,21 (Rain)_m^{1,36} \quad (2.13)$$

Dengan:

$R_m$  = Erosivitas curah hujan bulanan.

$(Rain)_m$  = Curah hujan bulanan (cm).

Kemudian untuk mendapatkan nilai R, maka digunakan persamaan sebagai berikut:

$$R = \sum_{m=1}^{12} (R_m) \quad (2.14)$$

Dengan:

R = Jumlah curah hujan tahunan rata-rata selama 12 bulan.

#### 2.4.2 Erodibilitas Tanah (K)

Menurut (Peraturan Menteri Kehutanan RI, 2009), erodibilitas tanah adalah tingkat kepekaan (indeks kuantitatif) suatu jenis tanah terhadap erosi air. Faktor K merupakan tanah hilang tahunan rata-rata dalam ton/ha/satuan  $EI_{30}$  seperti yang diperhitungkan dari tanah hilang pada plot-plot sepanjang 22,1 m yang berada di lahan kosong dan diolah sejajar dengan lereng 9%. Nilai yang dihitung berdasarkan percobaan yaitu berkisar antara 0,00 untuk tanah yang paling resistan hingga 0,69 untuk tanah yang paling mudah tererosi.

Terdapat beberapa sistem klasifikasi tanah yang digunakan dalam penelitian. Menurut (*United States Department of Agriculture (USDA)*, 1990), pengelompokan jenis tanah secara ringkas menurut kategori dan kriteria pembeda pada taksonomi tanah dibagi menjadi beberapa kelas dapat dilihat pada Tabel 2.3 sebagai berikut.

Tabel 2.3 Ringkasan Pembeda Taksonomi Tanah

Kategori	Kriteria
Ordo	Faktor pembedanya merupakan ada tidaknya horizon penciri dan jenis atau sifat dari horizon penciri tersebut
SubOrdo	Faktor pembedanya merupakan keseragaman genetik
Grup	Faktor pembedanya merupakan kesamaan jenis, tingkat perkembangan dan susunan horison, regim suhu dan kelembaban
SubGrup	Faktor pembedanya merupakan sifat inti <i>great group</i> , sifat peralihan ke <i>great group</i> , ordo atau subordo lain, dan sifat peralihan ke bukan tanah
Famili	Faktor pembedanya merupakan sifat penting dalam pertanian atau keteknikan, seperti: sebaran butir, susunan mineral, dan regim temperatur kedalaman 50 cm
Seri	Faktor pembedanya merupakan jenis dan susunan horison, warna, tekstur, struktur, konsistensi, reaksi tanah per horison, sifat kimia, dan mineral.

Sumber: (Tim alih bahasa kunci taksonomi tanah, 2015 dalam (Fauzi, 2022))

Berikut merupakan contoh dari berbagai jenis tanah dalam beberapa ordo yang terdapat di Indonesia dan Amerika Serikat (Dariah dkk., 2002), tertera pada Tabel 2.4 di bawah ini.

Tabel 2.4 Faktor K Berbagai Jenis Tanah di Indonesia dan Amerika Serikat

Ordo	Jenis Tanah	Lokasi	Faktor Erodibilitas Tanah (K) (ton/KJ)			Sumber Data
			Kisaran	Rata-rata	Kelas	
Oxisol	Haplorthox (Latosol)	Darmaga, Bogor <sup>1)</sup>	0,02 – 0,04	0,03	sr	Undang K dan Suwardjo (1984)
	Haplorthox (Latosol)	Citayam, Bogor <sup>1)</sup>	0,08 – 0,09	0,09	sr	Undang K dan Suwardjo (1984)
	Eustrtox	Pulau Oahu <sup>1)</sup>	0,09 – 0,20	0,14	r	Dangler dan El-Swaify (1976)
	Torroxx	Pulau Oahu <sup>1)</sup>	0,09 – 0,22	0,15	r	Dangler dan El-Swaify (1976)
	Torroxx	Pulau Oahu <sup>1)</sup>	0,09 – 0,27	0,22	sd	Dangler dan El-Swaify (1976)
Entisol	Fluvent (Regosol)	DAS Cimanuk <sup>2)</sup>	0,17 – 0,21	0,19	r	Hamer (1980)
	Troporthent (Regosol)	Tanjungharjo, Kulon Progo <sup>1)</sup>	0,11 – 0,16	0,14	r	Undang K dan Suwardjo (1984)
Ultisol	Tropohumult	Pulau Oahu <sup>1)</sup>	0,00 – 0,00	0,00	sr	Dangler dan El-Swaify (1976)
	Tropohumult	Pulau Oahu <sup>1)</sup>	0,02 – 0,14	0,09	sr	Dangler dan El-Swaify (1976)
	Tropohumult (Mediteran)	Citaman, Bandung <sup>1)</sup>	0,09 – 0,11	0,10	sr	Undang K dan Suwardjo (1984)
	Haplohumult (Podsolik)	DAS Cimanuk <sup>2)</sup>	0,13 – 0,19	0,16	r	Hamer (1980)
	Tropudult (Podsolik)	Jonggol, Bogor <sup>1)</sup>	0,12 – 0,19	0,16	r	Undang K dan Suwardjo (1984)
	Hapludult (Nitosol)	DAS Cimanuk <sup>2)</sup>	-	0,17	r	Hamer (1980)
	Hapludult (Nitosol)	DAS Cimanuk <sup>2)</sup>	0,17 – 0,21	0,19	r	Hamer (1980)
	Hapludult (Nitosol)	DAS Cimanuk <sup>2)</sup>	0,28 – 0,28	0,28	sd	Hamer (1980)
	Hapludult	Sumberjaya, Lampung <sup>2)</sup>	-	0,39	at	Subagyono <i>et al.</i> , (2004)
Alfisol	Endoaquult	DAS Cimanuk <sup>2)</sup>	0,42 – 0,42	0,42	at	Hamer (1980)
	Hapludalf (Mediteran)	DAS Cimanuk <sup>2)</sup>	0,13 – 0,13	0,13	r	Hamer (1980)
	Hapludalf (Mediteran)	DAS Cimanuk <sup>2)</sup>	0,14 – 0,18	0,16	r	Hamer (1980)
	Hapludalf (Mediteran)	DAS Cimanuk <sup>2)</sup>	0,17 – 0,23	0,20	r	Hamer (1980)
	Tropaqualf (Mediteran)	Punung, Pacitan <sup>1)</sup>	0,18 – 0,25	0,22	sd	Undang K dan Suwardjo (1984)
	Tropudalf (Mediteran)	Putat, Gn. Kidul <sup>1)</sup>	0,16 – 0,29	0,23	sd	Undang K dan Suwardjo (1984)
	Endoaqualf	DAS Cimanuk <sup>2)</sup>	0,24 – 0,32	0,28	sd	Hamer (1980)
Andisol	Hapludand	Sumberjaya, Lampung <sup>2)</sup>	-	0,05	sr	Subagyono <i>et al.</i> , (2004)
	Hyrudand	Pulau Hawaii <sup>1)</sup>	0,07 – 0,08	0,07	sr	Dangler dan El-Swaify (1976)
	Dystrudand	Pulau Hawaii <sup>1)</sup>	0,12 – 0,22	0,17	r	Dangler dan El-Swaify (1976)

Ordo	Jenis Tanah	Lokasi	Faktor Erodibilitas Tanah (K) (ton/KJ)			Sumber Data
			Kisaran	Rata-rata	Kelas	
	Eutrudand	Pulau Hawai <sup>1)</sup>	0,16 – 0,26	0,21	sd	Dangler dan El-Swaify (1976)
	Hapludand (Andosol)	DAS Cimanuk <sup>2)</sup>	0,24 – 0,38	0,31	sd	Hamer (1980)
	Hapludand (Andosol)	DAS Cimanuk <sup>2)</sup>	0,23 – 0,41	0,32	sd	Hamer (1980)
	Eutrudand	Pulau Hawai <sup>1)</sup>	0,51 – 0,60	0,55	t	Dangler dan El-Swaify (1976)
Inceptisol	Dystropept	Sumberjaya, Lampung <sup>2)</sup>	-	0,15	r	
	Ustropept	Pulau Oahu, Hawai <sup>1)</sup>	0,03 – 0,41	0,19	r	Dangler dan El-Swaify (1976)
	Dystrupept (Kambisol)	DAS Cimanuk <sup>2)</sup>	0,21 – 0,21	0,21	sd	Hamer (1980)
	Eutrudept (Kambisol)	DAS Cimanuk <sup>2)</sup>	0,20 – 0,38	0,29	sd	Hamer (1980)
	Aquept (Gleisol)	DAS Cimanuk <sup>2)</sup>	0,27 – 0,35	0,31	sd	Hamer (1980)
	Aquept (Gleisol)	DAS Cimanuk <sup>2)</sup>	0,17 – 0,47	0,32	sd	Hamer (1980)
Vertisol	Chromudert (Grumusol)	DAS Cimanuk <sup>2)</sup>	0,24 – 0,24	0,24	sd	Hamer (1980)
	Chromudert (Grumusol)	Jegu, Blitar <sup>1)</sup>	0,24 – 0,30	0,27	sd	Undang K dan Suwardjo (1984)
	Chromustert	Pulau Oahu, Hawai <sup>1)</sup>	0,26 – 0,31	0,30	sd	Dangler dan El-Swaify (1976)

Keterangan: sr = sangat rendah, r = rendah, sd = sedang, at = agak tinggi, dan t = tinggi. <sup>1)</sup>hasil pengukuran dengan petak standar, <sup>2)</sup>perhitungan dengan menggunakan nomograf Weischmeier dkk.,1971 dalam (Dariah dkk., 2002).

Sumber: (Dariah dkk., 2002)

Tinggi rendahnya tingkat erodibilitas tanah (kelas erodibilitas tanah), berdasarkan rekomendasi USDA-SCS, 1973 dalam (Dariah dkk., 2002), erodibilitas tanah dibagi menjadi enam kelas. Berikut merupakan enam kelas dari erodibilitas tanah terdapat pada Tabel 2.5 di bawah ini.

Tabel 2.5 Kelas Erodibilitas Tanah Menurut USDA-SCS

Kelas USDA-SCS	Nilai K (ton/KJ)	Uraian Kelas
1	0 – 0,1	Sangat Rendah
2	0,11 – 0,2	Rendah
3	0,21 – 0,32	Sedang
4	0,33 – 0,43	Agak Tinggi
5	0,44 – 0,55	Tinggi
6	0,56 – 0,64	Sangat Tinggi

Sumber: (USDA-SCS, 1973 dalam (Dariah dkk., 2002))

### 2.4.3 Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng (LS)

Panjang lereng diukur dari titik awal terjadinya aliran permukaan hingga titik akhir dimana air masuk ke dalam sungai, saluran, atau sampai titik kemiringan lereng berubah, dan mempengaruhi kecepatan aliran permukaan. Aliran air permukaan cenderung berkumpul di ujung lereng sehingga volume dan kecepatan aliran air lebih besar di bagian bawah lereng dibandingkan dengan bagian atas. Sedangkan kemiringan lereng diukur dalam derajat atau persen, semakin curam lereng maka akan semakin besar juga jumlah aliran permukaan, kecepatan aliran, dan energi yang dihasilkan oleh aliran tersebut. Lereng yang lebih curam dapat menyebabkan lebih banyak butir tanah yang teledar ke bagian bawah lereng akibat tumbukan tetesan air hujan (Puspita, 1999).

Nilai faktor topografi (LS) merupakan besaran yang menunjukkan perbandingan tanah yang hilang pada suatu luasan lahan (ton/ha) di lereng tertentu dengan tanah yang hilang dari suatu petak baku pada tempat yang berdekatan (Rusnam, 2013). Faktor indeks dari topografi L dan S, mewakili pengaruh panjang dan kemiringan lereng terhadap besarnya erosi. Dalam perkiraan erosi menggunakan persamaan USLE, komponen panjang dan kemiringan lereng (L dan S) umumnya

diintegrasikan menjadi faktor LS (Oktasandi dkk., 2019). Nilai LS dapat ditentukan menurut kemiringan lerengnya, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.6 sebagai berikut.

Tabel 2.6 Klasifikasi Sebaran Lereng

No	Kemiringan Rata-rata	Nilai LS	Kondisi
1	0 - 8%	0,4	Datar
2	>8% - 11%	1,4	Landai
3	>15% - 25%	3,1	Agak Curam
4	>25% - 45%	6,8	Curam
5	>45%	9,5	Sangat Curam

Sumber: (Isma & Neneng, 2016)

Variabel L dan S dapat disatukan karena erosi akan bertambah besar dengan bertambahnya seiring dengan bertambahnya tingkat kemiringan permukaan lahan sehingga menyebabkan lebih banyak percikan air yang membawa butir-butir tanah mengakibatkan limpasan bertambah besar dengan kecepatan yang lebih tinggi dan bertambah panjangnya (Rahayu, 2012).

#### 2.4.4 Faktor Tutupan Lahan (C) dan Tindakan Konservasi (P)

Secara umum, faktor tutupan lahan (C) menunjukkan keseluruhan dari pengaruh vegetasi, permukaan tanah, dan aktivitas pengolahan lahan terhadap terjadinya erosi. C merupakan nisbah antara besarnya erosi pada area tertentu dengan vegetasi dan pengolahan tanaman tertentu terhadap besarnya erosi tanah yang identik dan tanpa nama. Sedangkan tindakan konservasi lahan (P) merupakan perbandingan antara besarnya erosi pada lahan konservasi terhadap lahan tanpa adanya konservasi. Tindakan konservasi terdiri dari pembuatan teras, penanaman sejajar kontur, rotasi tanaman, dan pemupukan (Nugroho, 2003).

Tutupan lahan merupakan garis yang menggambarkan batas penampakan pada area penutupan yang berada di atas permukaan bumi dan terdiri dari bentang alam dan/atau bentang buatan Yusuf, 2021 dalam (Fauzi, 2022). Menurut (Rancangan Nasional Standar Indonesia (RSNI-1)) tentang kelas penutupan lahan dalam penafsiran citra optis resolusi sedang, terdapat beberapa klasifikasi dari tutupan lahan yang dapat dilihat pada Tabel 2.7 berikut.

Tabel 2.7 Kelas Penutupan Lahan

No	Kelas	Definisi	Spesifikasi
1	Hutan lahan kering primer	Hutan alam atau hutan yang tumbuh dan berkembang secara alami, stabil dan belum pernah mengalami gangguan eksploitasi oleh manusia, yang lantai hutannya tidak pernah terendam air baik secara periodik atau sepanjang tahun.	Kenampakkan hutan primer ditandai dengan adanya obyek yang berwarna hijau tua (pada band 543) cenderung gelap dan bertekstur kasar dengan tajuk-tajuk pohon yang kelihatan bergerombol. Tidak terdapat bekas tebangan. Pada citra, warna yang cenderung gelap karena posisi obyek yang berada pada tebing pegunungan tinggi sehingga cahaya matahari kurang.
2	Hutan lahan kering sekunder/bekas tebangan	Hutan yang tumbuh secara alami sesudah terjadinya kerusakan/perubahan pada tumbuhan hutan yang pertama. Hutan yang telah mengalami gangguan eksplotasi oleh manusia, biasanya ditandai dengan adanya jaringan jalan ataupun jaringan sistem eksploitasi lainnya. Kenampakan berhutan bekas tebas bakar yang ditinggalkan, bekas kebakaran atau yang tumbuh kembali dari bekas tanah terdegradasi juga dimasukkan dalam kelas ini.	Kenampakkan hutan sekunder ditandai dengan adanya obyek yang berwarna hijau tua (pada band 543) cenderung gelap dan bertekstur kasar dengan tajuk-tajuk pohon yang kelihatan bergerombol. Terdapat bekas tebangan. Pada citra, warna yang cenderung gelap karena posisi obyek yang berada pada tebing pegunungan tinggi sehingga cahaya matahari kurang.
3	Hutan rawa primer	Hutan yang lantai hutannya secara periodik atau sepanjang tahun terendam air (di daerah berawa, termasuk rawa payau dan rawa gambut) yang belum menampakkan bekas penebangan.	Kenampakkan obyek ditandai dengan adanya hutan rawa yang bertekstur halus, rapat dan berwarna hijau sampai dengan hijau tua (band 543). Tidak ada tanda bekas tebangan. Terdapat Sungai dan rawa di tengah areal.
4	Hutan rawa sekunder/bekas tebangan	Hutan yang lantai hutannya secara periodik atau sepanjang tahun terendam air (di daerah berawa, termasuk rawa payau dan rawa gambut) yang telah menampakkan bekas penebangan, termasuk hutan sagu dan hutan rawa bekas terbakar dan sudah mengalami suksesi.	Pada citra Landsat kombinasi band 543, berwarna hijau segar cenderung agak tua bertekstur halus meliputi areal yang luas diselingi dengan garis-garis berwarna hijau sangat muda yang mengindikasikan jalur/jalan tebang.
5	Hutan mangrove primer	Hutan yang tumbuh di daerah pantai atau sekitar muara yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut (bakau, nipah dan nibung yang berada di sekitar pantai, yang belum menampakkan bekas penebangan). Pada beberapa lokasi, hutan mangrove berada lebih ke pedalaman.	Kenampakkan obyek ditandai dengan adanya hutan mangrove yang bertekstur halus dan berwarna hijau muda (band 543) tidak terdapat bekas tebangan. Pada citra tampak adanya Sungai besar dan Sungai kecil yang membelah areal hutan mangrove.
6	Hutan mangrove sekunder/bekas	Hutan yang tumbuh di daerah pantai atau sekitar muara yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut (bakau, nipah	Kenampakkan obyek ditandai dengan adanya hutan mangrove yang bertekstur halus dan berwarna hijau muda (band 543)



No	Kelas	Definisi	Spesifikasi
	tebangan	dan nibung yang berada di sekitar pantai), yang telah memperlihatkan bekas penebangan dengan pola alur, bercak, dan genangan atau bekas terbakar.	terdapat bekas tebangan. Pada citra tampak adanya sungai besar dan sungai kecil yang membelah areal hutan mangrove.
7	Semak belukar	Hutan lahan kering yang telah tumbuh kembali (mengalami suksesi) namun belum/tidak optimal, atau lahan kering dengan liputan pohon jarang (alami) atau lahan kering dengan dominasi vegetasi rendah (alami). Kenampakan ini biasanya tidak menunjukkan lagi adanya bekas/bercak tebangan.	Kenampakan obyek ditandai dengan adanya vegetasi rendah dan bertekstur halus sampai dengan agak kasar, berwarna hijau muda pada band 543 yang mengindikasikan adanya semak belukar dan terdapat bekas tebangan. Karena pada lahan kering, terdapat areal berwarna merah yang menandakan tanah terbuka atau pemukiman.
8	Hutan tanaman	Hutan tanaman yang dibangun dalam rangka meningkatkan potensi dan kualitas hutan produksi (sudah ditanami), termasuk hutan tanaman untuk reboisasi dan hutan tanaman industri.	Mempunyai umur seragam, tertata rapi dan mempunyai pola tertentu yang menunjukkan adanya manajemen dalam penanaman maupun pengelolaannya.
9	Perkebunan/kebun	Kebun (perkebunan) adalah lahan bertumbuhan pohon-pohonan yang dibebani hak milik atau hak lainnya dengan penutupan tajuk didominasi pohon buah atau industri.	Kenampakan perkebunan coklat ditandai dengan adanya obyek yang berwarna hijau sangat muda dengan bercak coklat muda kekuningan (pada band 543) cenderung terang dengan tekstur halus. Batas-batas yang jelas dan teratur menunjukkan bahwa obyek adalah perkebunan.
10	Semak belukar rawa	Hutan rawa/mangrove yang telah tumbuh kembali (mengalami suksesi) namun belum/tidak optimal, atau bekas hutan rawa/mangrove dengan liputan pohon jarang (alami), atau bekas hutan rawa/mangrove dengan dominasi vegetasi rendah (alami). Kenampakan ini biasanya tidak menunjukkan lagi adanya bekas/bercak tebangan.	Kenampakan obyek ditandai dengan adanya vegetasi rendah dan bertekstur halus sampai dengan agak kasar yang mengindikasikan adanya semak belukar dan terlihat adanya genangan air musiman atau permanen.
11	Rumput	Hampan non hutan alami berupa padang rumput, kadang-kadang dengan sedikit semak atau pohon. Kenampakan ini merupakan kenampakan alami di sebagian Sulawesi Tenggara, Nusa Tenggara Timur dan bagian Selatan Papua.	Kenampakan obyek ditandai dengan barisan tipis vegetasi yang bertekstur sangat halus berwarna hijau lumut (pada band 543). Lapisan berwarna merah merupakan tanah terbuka yang merupakan kondisi alami dari wilayah pegunungan yang sangat tinggi di Papua. Kenampakan rumput rawa sangat spesifik pada kondisi basah, namun pada kondisi kering cukup sulit dibedakan dengan tanah terbuka karena sama-sama berwarna merah pada band 543 citra Landsat. Oleh karena itu, diperlukan data pendukung seperti foto lapangan.

No	Kelas	Definisi	Spesifikasi
12	Pertanian lahan kering	Aktivitas pertanian di lahan kering seperti tegalan dan ladang.	Biasanya berada di sekitar permukiman.
13	Pertanian lahan kering campur semak	Aktivitas pertanian lahan kering dan kebun yang berselang-seling dengan semak, belukar dan hutan bekas tebangan. Sering muncul pada areal perladangan berpindah, dan rotasi tanam lahan karst.	Biasanya meliputi areal yang luas dan belum terlihat adanya kepadatan permukiman dengan prosentase merata atau seimbang antara pertanian lahan kering, kebun dan semak.
14	Sawah/pesawahan	Hamparan lahan untuk aktivitas pertanian yang dicirikan oleh pola pematang (di Jawa), biasanya di luar Jawa tidak menggunakan pola pematang. Yang perlu diperhatikan adalah fase rotasi tanam yang terdiri atas fase penggenangan, fase tanaman muda, fase tanaman tua dan fase bera. Kelas ini juga memasukkan sawah musiman, sawah tadah hujan, dan sawah irigasi. Khusus untuk sawah musiman di daerah rawa disebut sawah sonor, yaitu penanaman padi pada areal rawa yang sedang kering dengan melakukan pembakaran pada awal musim kemarau kemudian menanam pada musim kemarau (dengan penaburan benih) dan memanen padi sebelum lokasi tersebut terbenam air kembali.	Berbentuk petak yang teratur (Jawa) dan kadang tergenang air atau kering dan mempunyai keseragaman umur tanam dalam satu petak/areal yang tidak dibatasi oleh pematang.
15	Tambak	Lahan untuk aktivitas perikanan darat (ikan/udang) atau penggarapan yang dicirikan dengan pola pematang (umumnya), serta biasanya tergenang dan berada di sekitar pantai.	Umumnya berada di sekitar pantai dan atau dekat dengan pantai, membentuk petak-petak tergenang air dan ada yang terlihat kering.
16	Pemukiman/lahan terbangun	Lahan yang digunakan untuk pemukiman, baik perkotaan, pedesaan, industri, fasilitas umum, dll dengan memperlihatkan bentuk-bentuk yang jelas.	Dicirikan oleh sekumpulan pola bangunan yang rapat di permukiman kota, Jaringan jalan nampak padat. Permukiman di pedesaan lebih jarang dan terlihat adanya pola jalan penghubung antar kelompok permukiman.
17	Transmigrasi	Lahan yang digunakan untuk areal pemukiman pedesaan (transmigrasi) beserta pekarangan di sekitarnya. Sedangkan areal transmigrasi yang telah berkembang, polanya kurang teratur dan susah dipisahkan lagi antara kebun, pertanian dan pemukimannya, dikelaskan menjadi kelas transmigrasi.	Kenampakan transmigrasi ditandai dengan bentuk lahan terbangun dan tanaman pertanian atau tegakan pohon yang teratur dengan batas yang jelas dan pada tampilan citra band 543 terlihat bahwa tegakan tersebut berwarna hijau muda dengan tekstur kasar dan dibatasi oleh lahan terbuka atau pemukiman yang ditandai dengan warna merah muda.
18	Tanah terbuka	Lahan terbuka tanpa vegetasi (singkapan batuan puncak	Kenampakan obyek (pada citra Landsat band 543) ditandai

No	Kelas	Definisi	Spesifikasi
		gunung, puncak bersalju, kawah vulkan, gosong pasir, pasir pantai, endapan sungai) dan lahan terbuka bekas kebakaran. Kenampakan lahan terbuka untuk pertambangan dikelaskan pertambangan, sedangkan lahan terbuka bekas pembersihan lahan- <i>land clearing</i> dimasukkan kelas lahan terbuka. Lahan terbuka dalam kerangka rotasi tanam sawah/tambak tetap dikelaskan sawah/tambak.	dengan areal berwarnamerah muda hingga merah tua, kadang berwarna coklat, tergantung pada kandungan material tanahnya, dan berwarna putih apabila material tersusun dari kapur.
19	Pertambangan/ tambang	Lahan terbuka yang digunakan untuk aktivitas pertambangan terbuka- <i>open pit</i> (spt: batubara, timah, tembaga, dll), serta lahan pertambangan tertutup skala besar yang dapat diidentifikasi dari citra berdasarkan asosiasi kenampakan objeknya, termasuk <i>tailing ground</i> (penimbunan limbah penambangan). Lahan pertambangan tertutup skala kecil atau yang tidak teridentifikasi dikelaskan menurut kenampakan permukaannya.	Kenampakkan tambang terbuka pada tampilan citra band 543 ditandai dengan warna bervariasi, tergantung kandungan materialnya, seperti pada tanah terbuka, untuk tambang tertutup (minyak) ditandai dengan adanya pola jaringan jalan penghubung antar titik pengeboran atau penimbunan.
20	Tubuh air	Perairan, termasuk laut, sungai, danau, waduk, dll. Kenampakan tambak, sawah, dan rawa-rawa telah digolongkan tersendiri.	Kenampakkan obyek ditandai dengan adanya areal berwarna biru muda, biru keputihan atau hitam (pada kombinasi band 543) meliputi areal cukup luas.
21	Rawa	Lahan rawa yang sudah tidak berhutan (tidak ada vegetasi pohon).	Kenampakkan rawa sangat spesifik jika pada kondisi basah, yaitu adanya genangan air yang terkadang meliputi wilayah cukup luas dan dalam yang ditandai dengan warna hitam pada kombinasi band 543 citra Landsat. Sedangkan pada kondisi kering genangan tersebut akan terlihat merah atau coklat pada kombinasi band 54.
22	Tertutup awan	Seluruh kenampakan awan dan bayangan awan yang menutupi lahan suatu kawasan dengan ukuran lebih dari 4 cm <sup>2</sup> pada skala penyajian. Jika liputan awan tipis atau adanya haze (kabut) masih memperlihatkan kenampakan dibawahnya dan memungkinkan ditafsir, maka tetap didelineasi.	Terlihat dengan warna putih atau biru atau semburat pink dan hitam (bayangan awan).
23	Bandara/pelabuhan	Bandara dan pelabuhan yang berukuran besar dan memungkinkan untuk didelineasi tersendiri.	Terlihat jalur panjang dan lebar dengan ukuran tertentu serta tidak dihubungkan dengan jaringan jalan ke tempat lain

<b>No</b>	<b>Kelas</b>	<b>Definisi</b>	<b>Spesifikasi</b>
24	Terumbu karang	Batuan yang terbentuk dari sedimen kulit kerang/ mikroorganisme lainnya yang biasanya terdapat pada laut dangkal, permukaan laut dan menjadi habitat berkembangnya kerang/biota laut lainnya.	Biasa terdapat di laut dangkal.

Sumber: (Fauzi, 2022)

Faktor tutupan lahan dan tindakan konservasi diperoleh dari data penggunaan lahan dan tindakan konservasi yang dilakukan. Nilai indeks untuk CP didapat berdasarkan peta penggunaan lahan yang kemudia disesuaikan dengan pengelompokkan nilai faktor CP seperti pada Tabel 2.8 berikut.

Tabel 2.8 Nilai CP Untuk Berbagai Faktor Tutupan Lahan

No	Jenis Tata Guna Lahan	CP
1	Belukar Rawa	0,010
2	Rawa	0,010
3	Semak/Belukar	0,300
4	Pertanian Lahan Kering Campur	0,190
5	Pertanian Lahan Kering	0,280
6	Perkebunan	0,500
7	Permukiman	0,950
8	Hutan Lahan Kering Sekunder	0,010
9	Hutan Mangrove Sekunder	0,010
10	Hutan Rawa Sekunder	0,010
11	Hutan Tanaman	0,050
12	Sawah	0,010
13	Tambak	0,001
14	Tanah Terbuka	0,950
15	Hutan Lahan Kering Primer	0,030
16	Industri	0,700
17	Tegalan	0,700
18	Bandara/Pelabuhan	0,950
19	Tubuh Air	0,001
20	Pertambangan	0,950

Sumber: (Isma & Neneng, 2016)

Faktor C merupakan angka pembanding dengan tanah hilang tahunan pada areal yang bervegetasi dengan areal yang sama, jika arealnya kosong dan ditanami secara teratur maka nilai faktor C berkisar antara 0,001 pada hutan tak terganggu hingga 1,0 pada tanah kosong tidak ditanami (Isma & Neneng, 2016).

Faktor konservasi tanah (P) merupakan tindakan pengawetan yang meliputi usaha-usaha untuk mengurangi erosi tanah secara mekanis maupun biologis/vegetasi. Nilai P ditentukan berdasarkan tabel dari indeks konservasi tanah yang dilakukan. Nilai P sama dengan 1 ( $= 1$ ) dan kurang dari 1 ( $< 1$ ) terjadi pada kondisi tidak adanya usaha dalam pengendalian erosi untuk penggunaan lahan dengan penanganan secara

mekanis (Segel dan Putuhena, 2005 dalam Isma et al., 2016). Nilai faktor P pada berbagai aktivitas konservasi tanah dapat dilihat pada Tabel 2.9 berikut.

Tabel 2.9 Nilai Faktor P Tindakan Konservasi Tanah

No	Tindakan Konservasi Tanah	Nilai P
1	Teras Bangku	0,04
2	Teras Gulud: Padi – Jagung Ketela Pohon Jagung – Kacang + Mulsa Sisa Tanaman Kacang Kedelai	0,01 0,06 0,01 0,11
3	Strip Tanaman Rumput Bahia	0,40
4	Pengolahan Tanah dan Penanaman Menurut Garis Kontur: Kemiringan 0% - 8% Kemiringan 9% - 20% Kemiringan >20%	0,50 0,75 0,90
5	Tanpa Tindakan Konservasi	1,0

Sumber: (Isma & Neneng, 2016)

Pemilihan konservasi tanah di wilayah pertanian didasarkan pada kondisi kemiringan lahan, kedalaman tanah, dan kepekaan tanah terhadap erosi lahan. Berikut merupakan pemilihan teknologi konservasi tanah secara mekanis dan vegetatif dapat dilihat pada Tabel 2.10 di bawah ini.

Tabel 2.10 Rancangan teknik Konservasi Tanah

Lereng (%)	Kedalaman Solum (cm)/Erodibilitas					
	>90 cm		40 – 90 cm		<40 cm	
	Rendah	Tinggi	Rendah	Tinggi	Rendah	Tinggi
<15	B/G	B/G	B/G	B/G	G	G
15 – 30	B/G	B/G	B/G	G	G	G
30 – 45	B/G	G	G	G	G/I	I
>45	G/I	I	I	I	I	I

Sumber: (Idjudin, 2011)

Keterangan:

- B = Teras bangku + rumput/legum penguat teras  
 G = Teras gulud + rumput/legum penguat teras  
 I = Teras individu + rumput/legum penutup tanah

## 2.5 Sedimentasi

Sedimentasi dapat didefinisikan sebagai pengangkutan, melayangnya (suspensi) atau mengendapnya material fragmentasi oleh air. Sedimentasi merupakan akibat dari adanya erosi dan memberikan banyak dampak pada sungai, saluran, waduk, bendungan atau pintu-pintu air, dan di sepanjang sungai (Soemarto, 1995 dalam (Candra & Pratiwi, 2010)). Laju pengangkutan sedimen merupakan besarnya sedimen yang diukur sesaat. Jika debitnya tidak berubah secara cepat, satu kali pengukuran laju pengangkutan sedimen sudah cukup untuk menentukan laju rata-rata dalam satu hari. Namun, jika debitnya berubah secara cepat dan laju sedimennya tinggi, maka diperlukan beberapa kali pengukuran untuk menentukan laju harian rata-rata secara lebih teliti (Mondouw, 2017). Proses sedimentasi meliputi proses erosi, transportasi (angkutan), pengendapan (*deposition*), dan pemadatan (*compaction*) dari sedimentasi itu sendiri (Anwas, 1994).

Pengendapan akhir atau sedimentasi terjadi pada kaki bukit yang relatif datar, sungai, dan waduk. Pada daerah aliran sungai, partikel dan unsur hara yang larut dalam aliran permukaan akan mengalir ke sungai dan waduk, sehingga menyebabkan terjadinya pendangkalan pada tempat tersebut. Keadaan tersebut mengakibatkan daya tampung sungai dan waduk menjadi turun sehingga timbul bahaya banjir dan penyuburan air secara berlebihan atau eutrofikasi (Mondouw, 2017).

### 2.5.1 Klasifikasi Angkutan Sedimen (*Sediment Transport*)

Terdapat 3 (tiga) macam angkutan sedimen yang terjadi di dalam alur sungai menurut (Mulyanto, 2007), yaitu angkutan sedimen cuci/bilas/kikisan (*wash load*), angkutan sedimen layang (*suspended load*), dan angkutan sedimen dasar (*bed load*).

#### 1. *Wash Load*

*Wash load* atau angkutan sedimen cuci/bilas/kikisan terdiri dari partikel lanau dan debu yang terbawa masuk ke dalam sungai dan tetap tinggal melayang sampai mencapai laut atau genangan air lainnya. Sedimen jenis ini tidak banyak mempengaruhi sifat-sifat sungai meskipun memiliki jumlah terbanyak dibanding jenis-jenis lainnya, terutama pada saat musim hujan datang. Sedimen ini berasal

dari proses pelapukan DAS terutama yang terjadi pada musim kemarau sebelumnya.

## 2. *Suspended Load*

*Suspended load* atau angkutan sedimen layang terdiri dari pasir halus yang melayang di dalam air karena tersangga atau terhalang oleh turbulensi aliran air. Pengaruh sedimen ini tidak begitu besar terhadap sifat-sifat sungai. Tetapi jika terjadi perubahan kecepatan aliran jenisnya dapat berubah menjadi angkutan jenis ketiga. Gaya gerak angkutan jenis ini adalah turbulensi aliran dan kecepatan aliran itu sendiri.

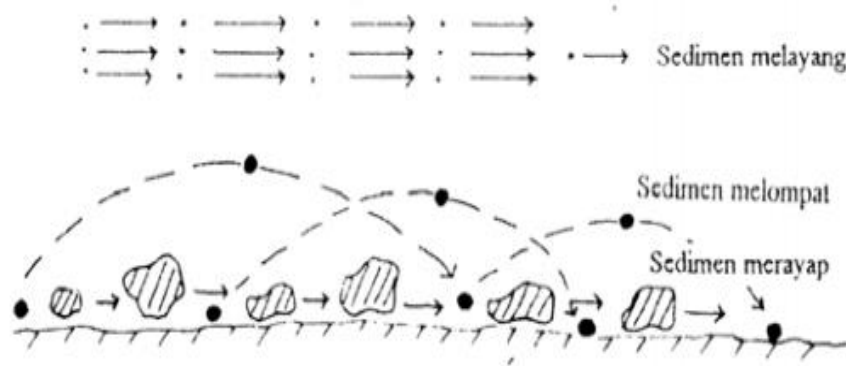
## 3. *Bed Load*

*Bed load* atau angkutan sedimen dasar merupakan angkutan dasar dimana material dengan besar butiran yang lebih besar akan bergerak menggelincir atau menggelinding hingga gerakannya mencapai kedalaman tertentu dari lapisan sungai. Tenaga penggerakannya merupakan gaya seret (*drag force*) dari lapisan dasar sungai.

Proses pengangkutan sedimen terjadi ketika sedimen memasuki badan-badan sungai, kemudian diangkat oleh aliran air dalam bentuk angkutan sedimen terlarut (*wash load*). Pasir halus bergerak dengan cara melayang (*suspended load*), sedangkan partikel yang lebih besar, antara lain pasir kasar cenderung bergerak dengan cara melompat (*saltation load*). Partikel yang lebih besar dari pasir, misalnya kerikil (*gravel*) bergerak dengan cara merayap atau menggelinding di dasar sungai (*bed load*). Penghasil sedimen terbesar adalah erosi permukaan lereng pegunungan, erosi sungai (dasar dan tebing alur sungai), dan bahan-bahan hasil letusan gunung berapi yang masih aktif (Asdak, 2014).

Besarnya ukuran sedimen yang terangkut aliran air disebabkan oleh beberapa faktor, seperti ukuran sedimen yang masuk ke badan sungai, karakteristik saluran, serta debit dan karakteristik fisik partikel sedimen. Besarnya sedimen yang masuk ke sungai dan besarnya debit ditentukan oleh faktor iklim, topografi, geologi, vegetasi, dan cara bercocok tanam di daerah tangkapan air yang merupakan asal sedimen datang (Asdak, 2014).





Gambar 2.14 Macam-Macam Pengangkutan Sedimen

Sumber: (Asdak, 2014)

### 2.5.2 Faktor-faktor Pengaruh Sedimentasi

Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya sedimentasi menurut Strand dan Pemberton, 1982 dalam (Devi, 2010) adalah sebagai berikut:

#### 1. Jumlah dan intensitas hujan

Jumlah hujan yang besar tidak selalu menyebabkan erosi apabila intensitasnya rendah, sebaliknya hujan lebat dalam waktu singkat hanya menyebabkan sedikitnya jumlah erosi karena jumlah hujan yang rendah. Selanjutnya, jika jumlah hujan dan intensitas hujan tinggi, maka erosi tanah yang terjadi cenderung tinggi dan mengakibatkan terjadinya sedimentasi yang tinggi.

#### 2. Formasi geologi dan jenis tanah

Tanah yang memiliki erodibilitas tinggi berarti tanah tersebut peka atau mudah tererosi, sebaliknya tanah dengan erodibilitas (kepekaan) rendah berarti tanah tersebut resisten atau tahan terhadap erosi.

#### 3. Tata guna lahan

Penggunaan lahan seperti penanaman tanaman di sekitar daerah aliran sungai (DAS) mampu meningkatkan cadangan air tanah dan mengurangi aliran permukaan. Sebaliknya apabila DAS dengan tata guna lahannya terganggu atau rusak maka akan mengurangi kapasitas infiltrasi sehingga aliran permukaan akan meningkat dan dapat menimbulkan erosi yang menyebabkan adanya sedimentasi.

#### 4. Erosi di bagian hulu

Erosi merupakan faktor yang mempengaruhi sedimentasi, sedimentasi merupakan lanjutan dari proses erosi.

#### 5. Topografi

Tampak rupa muka bumi atau topografi seperti kemiringan lahan, kerapatan parit atau saluran, dan bentuk-bentuk cekungan lainnya memiliki pengaruh pada sedimentasi.

### 2.6 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan rangkaian kegiatan yang dilakukan untuk mendapatkan gambaran mengenai situasi pada ruang muka bumi atau informasi tentang ruang muka bumi yang diperlukan untuk dapat menjawab atau menyelesaikan masalah yang terdapat dalam ruang muka bumi. Rangkaian kegiatan ini meliputi pengumpulan, penataan, pengolahan, analisis, dan penyajian data atau fakta yang terdapat dalam ruang muka bumi. Data atau fakta yang terdapat dalam ruang muka bumi disebut sebagai data/fakta geografis atau data/fakta spasial. Hasil analisisnya disebut informasi geografis atau informasi spasial (Sugandi D., Somantri L., 2009).

SIG adalah suatu sistem basis data yang memiliki kemampuan khusus untuk menangani data yang bersifat keruangan (spasial) bersamaan dengan seperangkat operasi kerja. SIG dibagi menjadi 2 (dua) kelompok, yaitu sistem manual (analog) dan sistem otomatis (digital komputer). Sistem informasi geografis manual menggabungkan beberapa data, seperti peta, lembar transparansi untuk tumpang susun (*overlay*), foto udara, laporan statistik, dan laporan survei lapangan, kemudian data tersebut disatukan dan dianalisis secara manual menggunakan alat tanpa komputer. Sedangkan Sistem informasi geografis otomatis telah menggunakan komputer sebagai sistem pengolahan data melalui proses digitasi. Sumber data digital dapat berupa citra satelit atau foto udara digital, serta foto udara yang sudah dilakukan digitasi, data tambahan berupa peta dasar yang telah dilakukan digitasi.

Berikut merupakan keistimewaan analisis menggunakan perangkat SIG (Sugandi D., Somantri L., 2009), terdiri dari:

1. Analisis *Proximity*

Analisis *proximity* merupakan suatu sistem geografis yang berbasis pada jarak antar *layer*. Analisis *proximity* dalam SIG menggunakan proses *buffering* yaitu proses membangun lapisan pendukung sekitar *layer* dalam jarak tertentu untuk menentukan dekatnya hubungan antara sifat bagian yang ada.

2. Analisis *Overlay*

Analisis *overlay* merupakan proses integrasi data dari lapisan-lapisan *layer* yang berbeda. Secara analisis, *overlay* membutuhkan lebih dari satu *layer* yang akan ditumpangtindih secara fisik agar dapat dianalisis secara visual.

## **2.7 Jebakan Sedimen (*Sediment Trap*)**

### **2.7.1 Teknologi Hijau (*Green Technology*)**

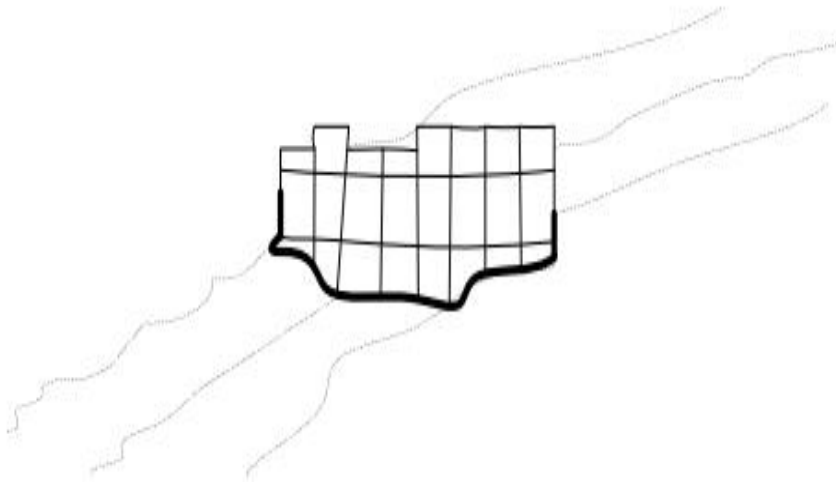
Teknologi Hijau (*Green Technology*) diartikan sebagai ilmu pengetahuan praktis atau teknologi yang digunakan untuk melaksanakan pembangunan yang dapat mewujudkan tatanan infrastruktur untuk memenuhi kebutuhan manusia secara berkelanjutan (*sustainable development*), tanpa meusak atau mengganggu sumber daya alam yang ada. Singkatnya *green technology* merupakan teknologi yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan generasi saat ini dan tidak mengganggu ketersediaan kebutuhan generasi mendatang (Green Technology, 2018).

Beberapa ciri teknologi hijau (*green technology*), antara lain: berkelanjutan (*Sustainable*), menggunakan sumber daya alam yang terbaru (*reclaimed*), menghasilkan produk yang dapat bermanfaat kembali (*re-used*), mengurangi produk limbah dan bahan pencemar, menggunakan proses terdaur ulang (*recycle*), inovatif tidak berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan, menciptakan kegiatan dan produk yang memiliki manfaat bagi lingkungan atau dapat melindungi bumi (Green Technology, 2018).

### 2.7.2 *Bio Sediment Trap*

Pengendalian erosi disamping dengan menggunakan metode terasering juga dapat dilakukan dengan penerapan teknologi *bioengineering* jebakan sedimen pada lahan-lahan yang tererosi ataupun pada lahan miring yang mempunyai potensi erosi. *Bio sediment trap* merupakan jebakan sedimen yang didesain untuk menahan kecepatan aliran permukaan dan menangkap sedimen yang terjadi pada alur-alur aliran permukaan yang tererosi (Soewandita & Sudiana, 2018).

*Bio sediment trap* pada prinsipnya diterapkan untuk mencegah, menahan/menangkap sedimen yang berbentuk partikel tanah yang terbawa oleh aliran permukaan. Secara tidak langsung penangkapan sedimen ini dapat mengendalikan kualitas fisik air sungai dan sedimentasi sungai. Aliran yang terkonsentrasi, baik pada lahan terbuka/kritis ataupun lahan budidaya pertanian/perkebunan dan hutan dapat ditahan dengan bangunan penahan sedimen sederhana ini karena bahan bakunya dapat diambil dari sumber daya lokal, seperti batang pohon kecil atau bambu (Soewandita & Sudiana, 2018).



Gambar 2.15 Ilustrasi *Bio Sediment Trap* Pada Alur Erosi

Sumber: (Soewandita & Sudiana, 2018)