

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Curah Hujan

2.1.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah aliran sungai adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungai, yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan. Pengelolaan DAS adalah upaya manusia dalam mengatur hubungan timbal balik antara sumber daya alam dengan manusia di dalam DAS dengan segala aktivitasnya agar terwujud kelestarian dan keserasian ekosistem serta meningkatnya kemanfaatan sumber daya alam bagi manusia secara berkelanjutan.

DAS memiliki karakteristik yang spesifik dan erat dengan unsur utamanya seperti jenis tanah, tata guna lahan, topografi, kemiringan dan panjang lereng. Karakteristik biofisik DAS tersebut dapat merespon curah hujan yang jatuh di dalam wilayah DAS tersebut dapat memberikan pengaruh terhadap besar kecilnya evapotranspirasi, infiltrasi, perkolasi, air larian, aliran permukaan, kandungan air tanah dan aliran sungai. Berdasarkan PERDA No. 20 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai pembagian DAS dibagi menjadi tiga komponen yaitu:

1. Bagian Hulu DAS adalah wilayah daratan dalam kesatuan das yang memiliki ciri topografi bergelombang, berbukit dan/atau bergunung, dengan kerapatan drainase relatif tinggi, merupakan sumber air yang masuk langsung ke sungai utama dan/atau melalui anak-anak sungai, serta sumber erosi yang sebagiannya terangkut ke daerah hilir usngai menjadi sedimen.
2. Bagian Tengah DAS merupakan daerah peralihan antara bagian hulu dengan bagian hilir dan mulai terjadi pengendapan. Dicitrakan dengan daerah yang relatif datar.

3. Bagian Hilir DAS adalah wilayah daratan dalam kesatuan DAS yang memiliki ciri topografi datar sampai berombak, merupakan daerah endapan sedimen atau dataran *alluvial*.

Model aliran menentukan bentuk daerah aliran sungai yang mempengaruhi kecepatan sungai terpusat. Semua jaringan kanal sungai bercabang dengan cara yang sama, tetapi menunjukkan pola yang berbeda tergantung pada medan dan kondisi geologis. Beberapa pola DAS berdasarkan garis batas dan arah aliran sungai antara lain sebagai berikut:

1. DAS Berbentuk Memanjang

Biasanya induk sungai memanjang dan anak-anak sungainya mengalir langsung ke sungai utama. Terkadang berbentuk seperti bulu burung. Bentuk ini biasanya menghasilkan debit banjir yang relatif kecil karena saluran banjir terpisah dari anak sungai. Namun biasanya ombak bertahan sedikit lebih lama.

2. DAS Berbentuk Radial

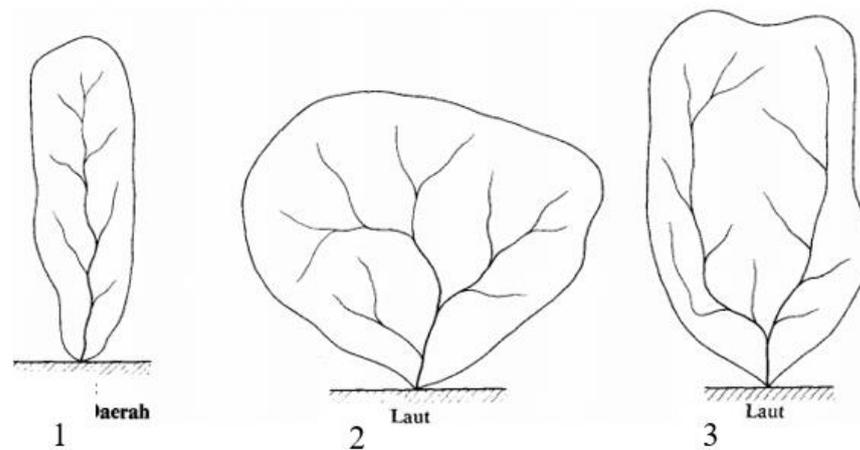
Arah aliran tampak berada di pusat titik, aka bentuk ini disebut bentuk radial. Terkadang gambarnya berbentuk kipas atau lingkaran, dibutuhkan waktu yang hampir lama untuk aliran keluar dari semua anak sungai. Ketika curah hujan didistribusikan secara merata di seluruh DAS akan menyebabkan terjadinya banjir yang signifikan.

3. DAS Berbentuk Paralel

DAS ini terdiri dari dua saluran air yang terhubung ke hilir. Ketika banjir terjadi di daerah hilir, biasanya terjadi di bawah titik pertemuan.

4. DAS Berbentuk Komplek

DAS bentuk ini adalah kejadian gabungan dari beberapa bentuk DAS yang lain.



Gambar 2.1 Bentuk Pola DAS

2.1.2 Analisis Hidrologi

2.1.2.1 Analisis Perbaikan

Setiap stasiun curah hujan umumnya memiliki data curah hujan yang lengkap, akan tetapi dalam beberapa kejadian terdapat data curah hujan yang hilang atau tidak tercatat. Hal ini biasanya akibat kesalahan pengamatan, rusaknya alat yang digunakan, maupun perubahan kondisi di lokasi. Berikut beberapa metode yang bisa digunakan untuk mengatasi hal itu:

1. Metode Normal Ratio

Metode yang digunakan cukup sederhana yakni dengan memperhitungkan data curah hujan di stasiun hujan yang berdekatan. Rumus metode normal ratio untuk mencari data curah hujan yang hilang sebagai berikut:

$$P_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \frac{N_x}{N_i} \dots\dots\dots (2.1)$$

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 x
- n = Jumlah stasiun di sekitar x

2. Metode Konvensional atau Rata-rata

Pengukuran yang dilakukan di beberapa stasiun dalam waktu yang bersamaan dijumlahkan dan kemudian dibagi dengan jumlah stasiun yang digunakan saling berdekatan, tetapi tanpa menggunakan stasiun yang dicari. Berikut persamaan yang digunakan:

$$P = \frac{P_1+P_2+P_3+\dots+P_n}{n} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan :

P = Curah hujan hilang (mm)

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

n = Jumlah titik stasiun

3. Metode *Inversed Square Distance*

Metode ini memperhitungkan jarak stasiun terdekat dengan stasiun yang dicari data curah hujan yang hilang. Rumus yang dapat digunakan sebagai berikut:

$$P_x = \frac{\frac{1}{(dXa)^2}P_a + \frac{1}{(dXb)^2}P_b + \dots + \frac{1}{(dXn)^2}P_n}{\frac{1}{(dXa)^2} + \frac{1}{(dXb)^2} + \dots + \frac{1}{(dXn)^2}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan :

P_x = Tinggi hujan yang dipertanyakan

P_a, P_b, ..., P_n = Tinggi hujan pada stasiun di sekitarnya

dX_a, dX_b, ..., dX_n = jarak stasiun x terhadap masing-masing stasiun a, b, c, n

2.1.2.2 Uji Konsistensi Curah Hujan

Uji konsistensi data dimaksudkan untuk mengetahui kebenaran data lapangan yang secara nyata dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya, spesifikasi alat penakar yang berubah. Apabila terdapat perubahan secara drastis pada saat kumulatif data, maka data harus disesuaikan mengacu pada nilai dari data-data lainnya.

Dalam metode ini nilai kumulatif data yang diuji (stasiun x) dibandingkan dengan nilai kumulatif seri data stasiun rerata lainnya. Selain itu dilakukan koreksi data hujan dengan cara analisis regresi dan korelasi sehingga memperoleh koefisien determinasi (R²) mendekati 1 (satu). Uji konsistensi data akan terus dilakukan sampai koefisien determinasi mendekati angka 1 (satu).

Persamaan regresi secara umum dituliskan sebagai berikut:

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

dengan:

Y = Variabel dependen

X = Variabel Independen

a = Konstanta

b = Koefisien regresi

dengan,

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

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

Persamaan korelasi secara umum dituliskan sebagai berikut:

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

dengan:

Y = Data kumulatif stasiun rerata

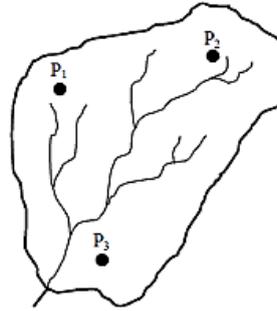
X = Data kumulatif stasiun X

n = Banyaknya sampel

2.1.2.3 Rerata Curah Hujan Tahunan

Curah hujan adalah tingkat ketinggian air hujan yang jatuh pada daerah yang datar dengan asumsi air hujan tersebut tidak meresap dan tidak mengalir. Curah hujan yang jatuh ke permukaan tanah tidak semuanya meresap ke dalam tanah atau digunakan oleh tanaman akan tetapi sebagian hujan yang jatuh akan menjadi limpasan air permukaan (*surface runoff*). Berikut merupakan analisis hidrologi untuk menentukan hujan rerata wilayah dengan tiga macam metode, yaitu:

1. Metode Rerata Aritmatik (Aljabar)



Gambar 2.2 Metode Rerata Aritmatik

Hujan rerata pada suatu DAS dapat dihitung dengan persamaan berikut:

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

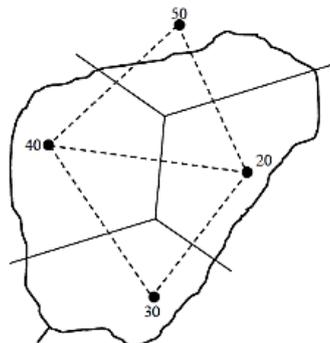
Dimana:

P = Hujan rerata wilayah (mm)

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

n = Jumlah titik pengamatan

2. Metode Poligon Thiessen



Gambar 2.3 Metode Poligon Thiessen

Hujan rerata pada suatu DAS dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{A_1.P_1 + A_2.P_2 + A_3.P_3 + \dots + A_n.P_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2.9)$$

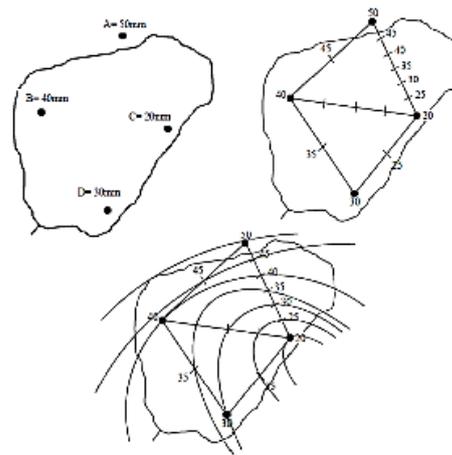
Dimana:

P = Hujan rerata wilayah (mm)

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

A₁, A₂, A₃, ..., A_n = Jumlah titik pengamatan pada stasiun 1, 2, 3, ..., n

3. Metode Isohyet



Gambar 2.4 Metode Isohyet

Hujan rerata pada suatu DAS dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{A1 \cdot \frac{I1+I2}{2} + A2 \cdot \frac{I2+I3}{2} + \dots + An \cdot \frac{In+In+1}{2}}{A1+A2+\dots+An} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana:

P = Hujan rerata wilayah (mm)

I1, I2, I3, ..., Pn = Garis isohyet ke 1, 2, 3, ..., n, n+1

A1, A2, A3, ..., An = Luas daerah yang dibatasi oleh isohyet ke 1 dan 2, 2 dan 3, ..., n dan n+1

2.2 Erosi

Erosi adalah proses hilangnya atau terkikisnya tanah atau bagian-bagian tanah dari suatu tempat yang terangkut oleh air atau angin ke tempat lainnya. Erosi oleh angin disebabkan oleh kekuatan angin, sedangkan erosi oleh air ditimbulkan oleh kekuatan air. Proses erosi tanah yang disebabkan oleh air meliputi tiga tahap yang terjadi di lapangan, yaitu tahap pertama pemecahan bongkah-bongkah atau agregat tanah ke dalam bentuk butir-butir yang kecil, tahap kedua pemindahan atau pengangkutan butir-butir yang kecil sampai halus dan tahap ketiga terjadinya pengendapan partikel-partikel tersebut di tempat yang lebih rendah.

Potensi erosi yang terjadi pada suatu DAS dapat diperhitungkan dengan berbagai metode prediksi salah satunya dengan metode MUSLE. Metode MUSLE digunakan untuk menduga besarnya erosi yang terjadi di suatu SubDAS dengan berbagai jenis penutupan lahan. Besarnya erosi dan sedimentasi dari tahun ke tahun

akan semakin bertambah apabila tidak dilakukan pengendalian ataupun pencegahan.

Besarnya erosi tergantung berbagai faktor yang mempengaruhinya meliputi, iklim, karakteristik tanah, vegetasi, topografi, dan penggunaan lahan. Faktor yang paling sering berubah-ubah ialah jumlah dan tipe tutupan lahan. Pada hutan yang tak terjamah, mineral tanah dilindungi oleh lapisan humus dan organik. Kedua lapisan ini melindungi tanah dengan menyerap dampak tetesan air hujan. Biasanya hujan-hujan yang lebat saja yang akan mengakibatkan limpasan di permukaan tanah dalam hutan.

2.2.1 Proses Terjadinya Erosi

Di alam terdapat dua penyebab utama yang aktif dalam proses erosi yakni angin dan air. Pada daerah yang beriklim tropis seperti di Indonesia dengan rata-rata curah hujan melebihi 1500 mm per tahun, aliran air merupakan salah satu penyebab utama terjadinya erosi. Proses terjadinya erosi oleh air hujan merupakan gabungan dari dua sub proses yaitu: (1) proses penghancuran struktur tanah menjadi butiran primer; dan (2) penghancuran struktur tanah yang diikuti oleh pengangkutan butiran tanah oleh aliran air yang ada pada permukaan tanah. Dimana proses terjadinya erosi terdiri dari tiga tahap, yaitu:

1. Tahap Pengelupasan (*Detachment*)

Percikan air hujan merupakan media utama dalam tahap pengelupasan partikel dalam tanah. Prosesnya yaitu ketika rintik air hujan mengenai permukaan tanah lalu partikel tanah akan mengalami pengelupasan dan terhempas ke udara. Proses ini berlanjut melalui aliran air tanah.

2. Tahap Pengangkutan (*Transportation*)

Proses yang terjadi setelah pengelupasan partikel tanah yaitu proses pengangkutan. Dimana ketika partikel tanah terhempas ke udara maka partikel tersebut akan Kembali terjatuh ke bumi akibat adanya gaya gravitasi. Hal tersebut bila terjadi pada lahan yang miring, partikel tanah yang jatuh akan tersebar searah dengan lereng dimana pada akhirnya akan menyumbat pori-pori tanah.

Percikan air hujan di awal akan menyebabkan pembentukan lapisan tanah yang keras pada bagian permukaan tanah. Hal ini mengakibatkan menurunnya

tingkat kapasitas dan laju inflasi pada tanah. Kondisi intensitas curah hujan akan melebihi laju inflasi akan menimbulkan genangan air yang kemudian menjadi aliran air di permukaan tanah. Maka aliran air inilah yang akan digunakan untuk mengangkut partikel-partikel yang terlepas atau terhempas.

3. Tahap Pengendapan (*Sedimentation*)

Proses sedimentasi sementara terjadi ketika energi aliran mulai menurun dan tak mampu lagi untuk mengalirkan partikel tanah yang terlepas pada bagian lereng bergelombang. Namun, ketika hujan turun Kembali maka endapan sementara akan teralirkan Kembali menuju dataran yang rendah biasanya terjadi di kaki bukit, daerah sungai dan waduk. Sedimentasi yang terjadi pada daerah aliran sungai akan menyebabkan pendangkalan.

2.2.2 Tipe-Tipe Erosi

Menurut (Suripin, 2004) berdasarkan bentuknya erosi dibedakan menjadi 7 tipe, diantaranya yaitu:

- a. Erosi aliran permukaan (*overland flow erosion*) akan terjadi apabila intensitas dan/atau lamanya hujan melebihi kapasitas infiltrasi atau kapasitas simpan air tanah.



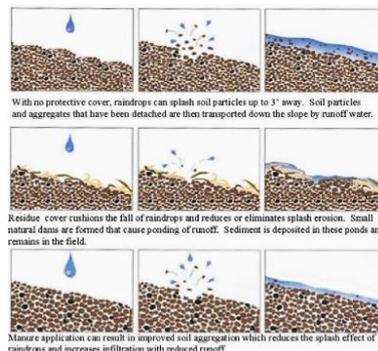
Gambar 2.5 Erosi Aliran Permukaan

- b. Erosi alur (*rill erosion*) merupakan pengelupasan yang diikuti dengan pengangkutan partikel-partikel tanah oleh aliran air larian yang terkonsentrasi di dalam saluran-saluran air.



Gambar 2.6 Erosi Alur

- c. Erosi percikan (*splash erosion*) ialah terlepas dan terhempasnya partikel-partikel tanah dari massa tanah akibat pukulan butiran air hujan secara langsung.



Gambar 2.7 Erosi Percikan

- d. Erosi parit (*gully erosion*), membentuk jajaran parit/elokan yang lebih dalam dan lebar dan merupakan tingkat lanjutan dari erosi alur.



Gambar 2.8 Erosi Parit

- e. Erosi tebing sungai (*streambank erosion*) ialah erosi yang terjadi akibat pengikisan tebing oleh air yang mengalir dari bagian atas tebing atau oleh terjangan arus sungai yang kuat terutama pada tikungan.



Gambar 2.9 Erosi Tebing Sungai

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



Gambar 2.10 Erosi Internal

- g. Tanah longsor (*land slide*) ialah bentuk erosi dimana gerakan massa tanah yang terjadi pada suatu saat dalam volume yang relatif besar.



Gambar 2.11 Tanah Longsor

2.2.3 Dampak Erosi Bagi Daerah Aliran Sungai

Erosi mengakibatkan hilangnya lapisan tanah permukaan atas yang baik untuk pertumbuhan tanaman serta berkurangnya kemampuan tanah untuk dapat

menyerap dan menahan air. Tanah yang terangkut oleh aliran air tersebut akan disalurkan lalu kemudian diendapkan di tempat lain seperti di sungai, danau, waduk, saluran irigasi, di atas tanah pertanian dan sebagainya. Berikut dampak erosi yang terjadi bagi daerah aliran sungai.

a. Pelumpuran dan Pendangkalan

Tanah dan bagian-bagian tanah tentunya akan mengalami pengendapan di bagian tertentu pada sungai, waduk, danau atau saluran-saluran air setelah melalui pengangkutan oleh aliran permukaan. Selain itu, sedimen, unsur-unsur hara, serta bahan organik lainnya ikut terangkut dan mengalami pengendapan. Hal ini menyebabkan terjadinya eutrofikasi berlebih pada waduk/danau sehingga perkembangan tatanan air menjadi lebih cepat serta mempercepat pendangkalan dan kerusakan DAS. Semakin dangkal maka dapat mengurangi umur DAS.

b. Menghilangnya Mata Air

Selama erosi terjadi, tersisa tanah yang tidak terangkut arus air merupakan tanah yang mempunyai daya infiltrasi air rendah. Sisa tanah tersebut menyebabkan suplai air ke dalam tanah akan menurun drastis. Akibatnya, akan ada beberapa mata air yang kehabisan air dalam tanah karena berkurangnya penyerapan air.

c. Memburuknya Kualitas Air

Memburuknya kualitas air disebabkan baik oleh sedimen yang bersumber dari erosi maupun limbah industri sudah sangat dirasakan di daerah aliran sungai yang berpenduduk padat. Meningkatnya aktivitas pembangunan yang tidak disertai dengan teknik konservasi dan penanganan limbah juga akan mengakibatkan tingkat pencemaran yang luar biasa di bagian hilir sungai.

d. Kerusakan Ekosistem Perairan

Kerusakan habitat dan tempat bertelur organisme air seperti ikan merupakan ciri dari kerusakan ekosistem perairan pada DAS. Hal ini dapat terjadi dikarenakan gerusan air yang terjadi pada bagian hulu sungai. Bagian hilir kerusakan terjadi akibat sedimentasi yang berlebih dari hasil erosi.

e. Meningkatnya Frekuensi Banjir

Berkurangnya daya infiltrasi tanah akan menyebabkan aliran permukaan (*run-off*) meningkat. Peningkatan aliran permukaan dan pendangkalan sungai akan meningkatkan frekuensi terjadinya banjir pada setiap musim hujan.

2.2.4 Kelas Tingkat Bahaya Erosi

Erosi yang terjadi tidak dapat dihilangkan atau tingkatnya menjadi nol, terlebih untuk lahan-lahan pertanian. Tindakan yang dapat dilakukan yaitu dengan mengupayakan erosi yang terjadi masih dibawah ambang batas yang ada, besarnya laju erosi tidak melebihi laju pembentukan tanah. Penentuan Tingkat Bahaya Erosi (TBE) melalui perkiraan erosi rata-rata tahunan dan kedalaman tanah pada setiap satuan lahannya. Kelas TBE ditentukan dengan menggunakan matriks seperti tabel berikut.

Tabel 2.1 Kelas Tingkat Bahaya Erosi (TBE)

Solum Tanah (cm)	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: (Saputro, 2009)

Keterangan:

SR = Sangat Rendah

R = Rendah

S = Sedang

B = Berat

SB = Sangat Berat

2.3 Metode MUSLE

Harga nisbah pengangkutan sedimen (*Sediment Delivery Ratio* = SDR) tidak menentu dan harganya dapat bervariasi dari satu tempat ke tempat lainnya, maka dari itu Williams (1975) melakukan modifikasi terhadap metode USLE menjadi metode MUSLE dengan mengganti faktor erosivitas hujan dengan faktor aliran permukaan. Metode yang baru ini sudah menggambarkan erosi yang terjadi berdasarkan besarnya sedimen yang terjadi.

Faktor yang terdapat pada MUSLE merupakan faktor yang terdapat pada USLE juga, hanya saja mengganti faktor hujan menjadi faktor aliran permukaan. Faktor-faktor yang terdapat pada MUSLE adalah faktor aliran permukaan, erodibilitas tanah, kemiringan lereng, faktor tutupan lahan dan tindakan konservasi tanah. MUSLE dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$E_A = \frac{SY}{SDR} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$SY = R_o \cdot K \cdot CP \cdot LS \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana:

E_A = Banyaknya tanah yang tererosi (ton/ha/tahun)

SY = Hasil sedimen tiap kejadian hujan (ton)

R_o = Limpasan permukaan (mm)

K = Faktor erodibilitas tanah

C = Faktor penutupan tanah oleh tanaman

P = Faktor praktek konservasi tanah

LS = Faktor panjang dan kemiringan lereng

2.3.1 Faktor Limpasan Permukaan (R_o)

Limpasan permukaan merupakan proses di mana air hujan yang jatuh tidak meresap ke dalam tanah atau ditahan oleh vegetasi, tetapi mengalir langsung diatas permukaan tanah. Limpasan permukaan terjadi ketika intensitas hujan melebihi laju infiltrasi tanah atau kapasitas penyerapan vegetasi. Besarnya nilai volume aliran permukaan dapat dihitung menggunakan metode *SCS*. Metode ini dikembangkan dari hasil pengamatan curah hujan bertahun-tahun dan melibatkan banyak daerah

pertanian di Amerika Serikat. Bilangan kurva air larian CN (*runoff curve number*) erat kaitannya dengan karakteristik DAS melalui metode ini.

1. Debit Maksimum (Q_p)

Estimasi debit maksimum dengan metode rasional yaitu rumus tertua diantara rumus-rumus empiris. Berikut rumus dari metode rasional:

$$Q_p = 0,00278.C.I.A.....(2.13)$$

dengan:

Q_p = Debit maksimum ($m^3/detik$)

C = Koefisien aliran permukaan

I = Intensitas curah hujan wilayah ($mm/tahun$)

A = Luasan daerah tutupan lahan (ha)

2. Volume Aliran Permukaan (V_q)

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)}.....(2.14)$$

dengan:

Q = Volume aliran permukaan (mm)

I_a = Abstraksi awal (*initial abstraction*)

P = Hujan harian (mm)

S = Volume dari total simpanan permukaan (*retention parameter*) (mm)

Dalam menentukan kedalaman dari curah hujan berlebih (*depth excess rainfall*) atau limpasan permukaan dapat ditunjukkan dalam persamaan diatas dimana korelasi nilai I_a dengan S adalah:

$$I_a = 0,2S.....(2.15)$$

Dalam memudahkan perhitungan kelembapan awal (*antecedent moisture condition*), tata guna lahan dan konservasi tanah, US SCS menentukan besarnya S sebagai berikut:

$$S = 25,4 \left(\frac{10000}{CN} - 10 \right).....(2.16)$$

dengan:

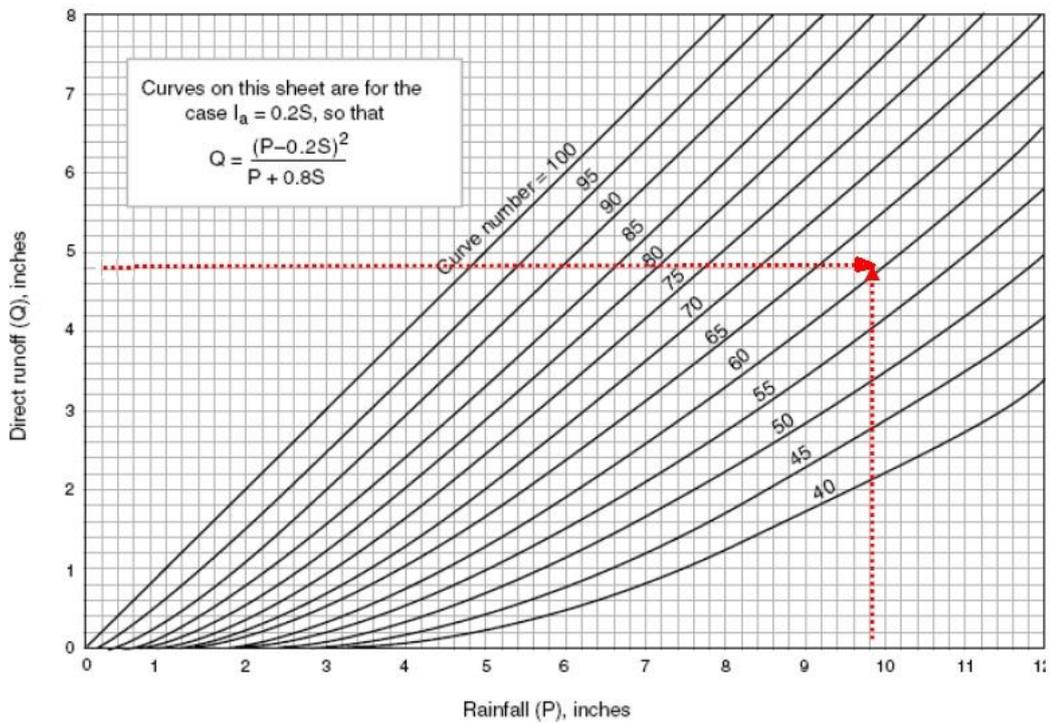
CN = Bilangan kurva air larian bervariasi dari 0 hingga 100

Dengan mengplotkan nilai dari P dan Q pada kurva SCS maka nilai CN dapat ditentukan. Metode SCS mengelompokkan jenis tanah dalam 4 (empat) jenis yaitu berdasar tipe tanah dan tataguna lahannya (*hydrology soil group*). Pada

abstraksi awal, Ia biasanya menggunakan pendekatan 0,2S sehingga persamaan menjadi:

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} \dots\dots\dots (2.17)$$

Limpasan permukaan akan terjadi apabila kejadian hujan (P) lebih besar dari abstraksi awal (Ia). Untuk nilai CN berbeda beda dapat dilihat pada Grafik dengan mudah bisa memberikan nilai CN berdasarkan hubungan hujan dan debit maksimum yang terjadi. Kondisi tersebut dapat dilakukan dengan pengamatan langsung di lapangan atau dengan menggunakan simulasi di laboratorium.



Gambar 2.12 Grafik SCS-CN

Koefisien limpasan permukaan yang didasarkan pada faktor-faktor daerah pengalirannya seperti: jenis tanah, kemiringan, keadaan hutan penutupnya dan besar kecilnya banjir, intensitas hujan selama *time of concentration* dan luas daerah pengaliran.

Maka didapat nilai R_o dengan rumus:

$$R_o = a (V_o Q_p)^b \dots\dots\dots (2.18)$$

dengan:

R_o = Limpasan permukaan (mm)

- V_Q = Volume aliran pada suatu kejadian hujan (m^3)
 Q_p = Debit puncak ($m^3/detik$)
a = Koefisien 11,80
b = Koefisien 0,56

2.3.2 Erodibilitas Tanah (K)

Erodibilitas tanah adalah kemampuan suatu tanah untuk tererosi atau terkikis oleh erosi air, angin dan aktivitas manusia. Jenis tanah yang mudah tererosi cenderung memiliki kehilangan tanah yang lebih tinggi dan kualitas tanah yang lebih rendah, serta dapat mengakibatkan pencemaran air, degradasi lahan maupun kerusakan lingkungan.

Erodibilitas tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya karakteristik tanah, kemiringan lereng, vegetasi, dan praktik manajemen lahan. Vegetasi yang terjadi dapat memperlambat aliran air dan angin, serta membantu memperkuat tanah. Penggunaan praktik manajemen lahan yang buruk seperti pengolahan tanah dan penggunaan pestisida berlebihan. Berikut contoh berbagai jenis tanah dari beberapa ordo yang ada di Indonesia dan Amerika Serikat.

Tabel 2.2 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 ¹⁾	0,02 - 0,04	0,03	sr	Undang K dan Suwardjo (1984)
	Haplorthox (Latosol)	Citayam, Bogor ¹⁾	0,08 - 0,09	0,09	sr	Undang K dan Suwardjo (1984)
	Eustrustox	Pulau Oahu ¹⁾	0,09 - 0,20	0,14	r	Dangler dan El-Swaify (1976)
	Torrox	Pulau Oahu ¹⁾	0,09 - 0,22	0,15	r	Dangler dan El-Swaify (1976)
	Torrox	Pulau Oahu ¹⁾	0,19 - 0,27	0,22	sd	Dangler dan El-Swaify (1976)
Entisol	Fluvent (Regosol)	DAS Cimanuk ²⁾	0,17 - 0,21	0,19	r	Hamer (1980)
	Troporthent (Regosol)	Tanjungharjo, Kulon Progo ¹⁾	0,11 - 0,16	0,14	r	Undang K dan Suwardjo (1984)
Ultisol	Tropohumult	Pulau Oahu ¹⁾	0,00 - 0,00	0,00	sr	Dangler dan El-Swaify (1976)
	Tropohumult	Pulau Oahu ¹⁾	0,02 - 0,14	0,09	sr	Dangler dan El-Swaify (1976)
	Tropohumult (Mediteran)	Citaman, Bandung ¹⁾	0,09 - 0,11	0,10	sr	Undang K dan Suwardjo (1984)
	Haplohumult (Podsolik)	DAS Cimanuk ²⁾	0,13 - 0,19	0,16	r	Hamer (1980)
	Tropudult (Podsolik)	Jonggol, Bogor ¹⁾	0,12 - 0,19	0,16	r	Undang K dan Suwardjo (1984)
	Hapludult (Nitosol)	DAS Cimanuk ²⁾	-	0,17	r	Hamer (1980)
	Hapludult (Nitosol)	DAS Cimanuk ²⁾	0,17 - 0,21	0,19	r	Hamer (1980)
	Hapludult (Nitosol)	DAS Cimanuk ²⁾	0,28 - 0,28	0,28	sd	Hamer (1980)
	Hapludult	Sumberjaya, Lampung ²⁾	-	0,39	at	Subagyono <i>et al</i> , (2004)
	Endoaquult	DAS Cimanuk ²⁾	0,42 - 0,42	0,42	at	Hamer (1980)
Alfisol	Hapludalf (Mediteran)	DAS Cimanuk ²⁾	0,13 - 0,13	0,13	r	Hamer (1980)
	Hapludalf (Mediteran)	DAS Cimanuk ²⁾	0,14 - 0,18	0,16	r	Hamer (1980)
	Hapludalf (Mediteran)	DAS Cimanuk ²⁾	0,17 - 0,23	0,20	r	Hamer (1980)

Ordo	Jenis Tanah	Lokasi	Faktor Erodibilitas Tanah (K) (ton/KJ)			Sumber Data
			Kisaran	Rata-rata	Kelas	
	Tropaqualf (Mediteran)	Punung, Pacitan ¹⁾	0,18 - 0,25	0,22	sd	Undang K dan Suwardjo (1984)
	Tropudalf (Mediteran)	Putat, Gn. Kidul ¹⁾	0,16 - 0,29	0,23	sd	Undang K dan Suwardjo (1984)
	Endoaqualf	DAS Cimanuk ²⁾	0,24 - 0,32	0,28	sd	Hamer (1980)
Andisol	Hapludand	Sumberjaya, Lampung ²⁾	-	0,05	sr	Subagyono <i>et al.</i> , (2004)
	Hydrudand	Pulau Hawaii ¹⁾	0,07 - 0,08	0,07	sr	Dangler dan El-Swaify (1976)
	Dystrudand	Pulau Hawaii ¹⁾	0,12 - 0,22	0,17	r	Dangler dan El-Swaify (1976)
	Eutrudand	Pulau Hawaii ¹⁾	0,16 - 0,26	0,21	sd	Dangler dan El-Swaify (1976)
	Hapludand (Andosol)	DAS Cimanuk ²⁾	0,24 - 0,38	0,31	sd	Hamer (1980)
	Hapludand (Andosol)	DAS Cimanuk ²⁾	0,23 - 0,41	0,32	sd	Hamer (1980)
	Eutrudand	Pulau Hawaii ¹⁾	0,51 - 0,60	0,55	t	Dangler dan El-Swaify (1976)
Inceptisol	Dystropept	Sumberjaya, Lampung ²⁾	-	0,15	r	Dariah (2004)
	Ustropept	Pulau Oahu, Hawaii ¹⁾	0,03 - 0,41	0,19	r	Dangler dan El-Swaify (1976)
	Dystrudept (Kambisol)	DAS Cimanuk ²⁾	0,21 - 0,21	0,21	sd	Hamer (1980)
	Eutrudept (Kambisol)	DAS Cimanuk ²⁾	0,20 - 0,38	0,29	sd	Hamer (1980)
	Aquept (Gleisol)	DAS Cimanuk ²⁾	0,27 - 0,35	0,31	sd	Hamer (1980)
	Aquept (Gleisol)	DAS Cimanuk ²⁾	0,17 - 0,47	0,32	sd	Hamer (1980)
Vertisol	Chromudert (Grumusol)	DAS Cimanuk ²⁾	0,24 - 0,24	0,24	sd	Hamer (1980)
	Chromudert (Grumusol)	Jegu, Blitar ¹⁾	0,24 - 0,30	0,27	sd	Undang K dan Suwardjo (1984)
	Chromustert	Pulau Oahu, Hawaii ¹⁾	0,26 - 0,31	0,30	sd	Dangler dan El-Swaify (1976)

Sumber: (Panjaitan, 2014)

Keterangan : sr = sangat rendah, r = rendah, sd = sedang, at = agak tinggi, dan t = tinggi. ¹⁾hasil pengukuran dengan petak standar, ²⁾perhitungan dengan menggunakan nomograf Weischmeier *et al.* (1971).

2.3.3 Kemiringan Lereng (LS)

Faktor indeks topografi L dan S, mewakili pengaruh Panjang dan kemiringan lereng terhadap besarnya laju erosi. Panjang lereng mengacu pada aliran permukaan, yaitu tempat terjadinya erosi dan pengendapan sedimen. Secara umum, kemiringan lereng diperlakukan sebagai faktor satuan. Berikut merupakan nilai LS untuk berbagai macam bentuk kelerengan ditentukan pada Tabel di bawah ini.

Tabel 2.3 Nilai LS untuk Variasi Kemiringan

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

Sumber: (Fauzi, 2022)

Variabel L dan S bisa digabungkan karena erosi akan meningkat seiring dengan bertambahnya kemiringan lahan, yang menyebabkan lebih banyak percikan air yang membawa butiran tanah. Hal ini mengakibatkan limpasan meningkat dengan kecepatan lebih tinggi dan jarak yang lebih panjang (Rahayu *et al.*, 2017).

2.3.4 Faktor Tutupan Lahan (CP)

Penutupan lahan (*landcover*) merupakan garis yang menggambarkan batas penampakan area penutupan di atas permukaan bumi yang terdiri dari bentang alam dan/atau bentang buatan (Yusuf, 2021). Penutupan lahan sendiri sebagai perwujudan fisik dari vegetasi, benda alam, dan unsur-unsur budaya yang ada di permukaan bumi. Terdapat tiga kelas data secara umum yang tercakup dalam penutupan lahan yaitu, struktur fisik, fenomena biotik (vegetasi alami, tanaman pertanian, dan kehidupan binatang), serta tipe pada pembangunan.

Menurut Rancangan Standar Nasional Indonesia (RSNI-1) tentang kelas penutupan lahan dalam penafsiran citra optis resolusi sedang terdapat beberapa klasifikasi tutupan lahan yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.4 Klasifikasi 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

No	Kelas	Definisi	Spesifikasi
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 tebangan	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 telah memperlihatkan bekas penebangan dengan pola alur, bercak, dan genangan atau bekas terbakar.	Kenampakkan obyek ditandai dengan adanya hutan mangrove yang bertekstur halus dan berwarna hijau muda (band 543) 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	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

No	Kelas	Definisi	Spesifikasi
		(alami). Kenampakan ini biasanya tidak menunjukkan lagi adanya bekas / bercak tebangan	
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.	Memiliki umur seragam, tertata rapi dan memiliki 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	Hamparan non hutan alami berupa padang rumput, kadang-kadang dengan sedikit semak atau pohon. Kenampakan ini merupakan kenampakan alami di sebagian	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.

No	Kelas	Definisi	Spesifikasi
		Sulawesi Tenggara, Nusa Tenggara Timur dan bagian Selatan Papua	Kenampakkan 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
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/persawahan	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	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

No	Kelas	Definisi	Spesifikasi
		memanen padi sebelum lokasi tersebut terbenam air kembali	
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 bearada di sekitar pantai dan atau dekat dengan pantai, membentuk petak-petak tergenang air dan ada yang terlihat kering
16	Permukiman/lahan terbangun	Lahan yang digunakan untuk permukiman, 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 permukiman perdesaan (transmigrasi) beserta pekarangan di sekitarnya. Sedangkan areal transmigrasi yang telah berkembang, polanya menjadi kurang teratur dan susah dipisahkan lagi antara kebun, pertanian dan pemukimannya, dikelaskan menjadi kelas transmigrasi.	Kenampakkan 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 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	Kenampakkan obyek (pada citra Landsat band 543) ditandai dengan areal berwarnamerah muda hingga merah tua, kadang berwarna coklat, tergantung pada kandungan material tanahnya, dan berwarna putih apabila material tersusun dari kapur.

No	Kelas	Definisi	Spesifikasi
		bekas pembersihan lahan-land clearing dimasukkan kelas lahan terbuka. Lahan terbuka dalam kerangka rotasi tanam sawah/ tambak tetap dikelaskan sawah / tambak	
19	Pertambangan/ tambang	Lahan terbuka yang digunakan untuk aktivitas pertambangan terbuka-open pit (spt.: batubara, timah, tembaga dll.), serta lahan pertambangan tertutup skala besar yang dapat diidentifikasi dari citra berdasar asosiasi kenampakan objeknya, termasuk tailing ground (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 ² pada skala	Terlihat dengan warna putih atau biru atau semburat pink dan hitam (bayangan awan)

No	Kelas	Definisi	Spesifikasi
		penyajian. Jika liputan awan tipis atau adanya haze (kabut) masih memperlihatkan kenampakan di bawahnya dan memungkinkan ditafsir, maka tetap didelineasi	
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
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: (Yusuf, 2021)

Penentuan indeks tutupan lahan dapat ditentukan dari peta tutupan lahan (landcover) atau diperoleh langsung dari pengukuran di lapangan. Indeks penutupan lahan (C) dan indeks tindakan konservasi tanah (P) dapat digabung menjadi faktor CP dengan asumsi tidak adanya tindakan konservasi. Berikut tabel yang menunjukkan nilai faktor CP tiap jenis tutupan lahan.

Tabel 2.5 Nilai Faktor CP

No	Jenis Tata Guna Lahan	CP
1	Belukar Rawa	0,01
2	Rawa	0,01
3	Semak/Belukar	0,3
4	Pertanian Lahan Kering Campur	0,19
5	Pertanian Lahan Kering	0,28
6	Perkebunan	0,5
7	Pemukiman	0,95
8	Hutan Lahan Kering Primer	0,03
9	Hutan Lahan Kering Sekunder	0,01
10	Hutan Mangrove Sekunder	0,01
11	Hutan Rawa Sekunder	0,01
12	Hutan Tanaman	0,05
13	Sawah	0,01
14	Tambak	0,001
15	Tanah Terbuka	0,95
16	Industri	0,7
17	Tegalan	0,7
18	Bandara/Pelabuhan	0,95
19	Tubuh Air	0,001
20	Pertambangan	0,95

Sumber: (Fauzi, 2022)

Nilai faktor konservasi tanah (P) merupakan perbandingan antara besarnya erosi dari lahan dengan suatu tindakan tertentu terhadap besarnya erosi pada lahan tanpa tindakan konservasi. Nilai $P=1$ yang diberikan pada lahan tanpa tindakan konservasi, sedangkan nilai $P<1$ untuk kondisi lahan dengan tindakan konservasi.

2.3.5 Teknik Konservasi Tanah

Konservasi tanah adalah serangkaian tindakan yang bertujuan untuk melindungi tanah dari degradasi, erosi, dan kehilangan kesuburan. Upaya konservasi tanah tidak hanya penting untuk keberlanjutan pertanian, tetapi juga untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan mengurangi dampak perubahan iklim.

Tabel 2.6 Nilai Faktor Tindakan Konservasi Tanah (P)

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

Sumber: (Fauzi, 2022)

Pemilihan konservasi tanah di wilayah pertanian berdasarkan kondisi kemiringan lahan, kedalaman tanah dan kepekaan tanah terhadap erosi yang terjadi. Secara garis besar dibedakan menjadi dua, yaitu teknik konservasi mekanik dan vegetatif. Berikut tabel pemilihan teknologi konservasi tanah secara mekanis dan vegetatif.

Tabel 2.7 Pemilihan Teknologi 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: (Fauzi, 2022)

Keterangan:

B = teras bangku+rumput/legum penguat teras,

G = teras gulud+rumput/legum penguat teras,

I = teras individu+rumput/legum penutup tanah.

2.4 Pelepasan Sedimen Akibat Erosi

Cara yang dapat dilakukan untuk memprakirakan hasil total sedimentasi dari suatu daerah tangkapan air salah satunya adalah melalui perhitungan SDR atau Nisbah Pelepasan Sedimen. SDR merupakan rasio perbandingan jumlah sedimen yang terangkut masuk ke dalam badan air atau sungai dengan jumlah erosi yang terjadi di hulu DAS.

Perhitungan besarnya SDR sangatlah penting dalam menentukan perkiraan yang realistis besarnya hasil total sedimentasi berdasarkan perhitungan erosi total yang berlangsung di daerah tangkapan air (Fauzi, 2022). Besarnya nilai SDR dipengaruhi oleh beberapa faktor, meliputi sumber sedimen yang berasal dari DAS, jarak sumber ke waduk, sistem transport, tekstur partikel-partikel tanah yang tererosi, lokasi desposisi sedimen dan karakteristik DAS. SDR juga dipengaruhi oleh faktor hidrologi (curah hujan), karakteristik bentang alam (misalnya vegetasi, topografi dan tanah) dan interaksi kompleks lainnya (Sabila *et al.*, 2020).

Persamaan SDR telah banyak dikembangkan dalam berbagai penelitian. Persamaan SDR ditentukan berdasarkan pengaruh karakteristik DAS. Berikut beberapa persamaan SDR yang telah diteliti meliputi:

1. Manner (1958) dalam Walling (1983) meneliti persamaan SDR yang dikembangkan dari hubungan antara SDR dengan *relief basin* dan panjang

basin berdasarkan data dari Kansas Amerika Serikat dan merumuskan persamaan SDR sebagai berikut:

$$\log(SDR) = 2.962 + 0.869 \log R_b - 0.854 \log L \dots\dots\dots (2.19)$$

dengan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio*

R_b = *Relief basin* (mil)

L = Panjang *basin* (mil)

Dari penelitian tersebut, didapatkan bahwa hubungan antara SDR dengan *ratio relief* dan panjang *basin* lebih baik dari faktor-faktor lain.

2. Roehl (1962) dalam Walling (1983), meneliti persamaan SDR berdasarkan data dari 15 DAS di daerah Southeastern, Texas, Amerika Serikat. Dari penelitian ini Roehl merumuskan SDR sebagai Berikut:

$$\log(SDR) = 4,5 - 0,23 \log 10A - 0,510 \text{ CoLog}R_b/L - 2,786 \text{ LogBr} \dots\dots\dots (2.20)$$

dengan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio*

A = Luas DAS (mil²)

R_b = *Relief basin* (mil)

L = Panjang *basin* (mil)

Br = *Bifurcation Ration*

3. Manner (1962) dalam Chang (2012) merumuskan persamaan SDR melalui hubungan antara SDR dan luas DAS menggunakan data luas DAS Blackland Prairie, Texas, Amerika Serikat. Persamaan SDR yang dihasilkan sebagai Berikut:

$$\text{Log} (SDR) = 1.8768 - 0.14191 \log (3.861 A) \dots\dots\dots (2.21)$$

dengan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio*

A = Luas DAS (km²)

4. William dan Berndt (1972) dalam Walling (1983) merumuskan SDR yang diperoleh berdasarkan data dari 5 DAS di Brushy Creek, Texas, Amerika Serikat. Persamaan yang dihasilkan sebagai berikut:

$$SDR = 0.627 S_{LP}^{0.403} \dots\dots\dots (2.22)$$

dengan:

$SDR = \textit{Sediment Delivery Ratio}$

$S_{LP} = \textit{Slope saluran utama (\%)}$

5. Vanoni (1975) dalam Ouyang dan Bartholic (1997) merumuskan SDR berdasarkan data dari 300 DAS yang tersebar di seluruh dunia. Persamaan yang dihasilkan sebagai berikut:

$$SDR = 0.42 A^{-0.125} \dots\dots\dots (2.23)$$

dengan:

$SDR = \textit{Sediment Delivery Ratio}$

$A = \textit{Luas DAS (mil}^2\text{)}$

6. Renfro merumuskan 2 persamaan SDR yang berbeda. Persamaan pertama merupakan pengembangan dari persamaan Manner (1958). Persamaan dimodelkan berdasarkan hubungan antara SDR dengan luas DAS ($R^2 = 0,97$). Persamaan yang dihasilkan sebagai berikut:

$$\log(SDR) = 2.94259 + 0.82362 (\log R_b/L) \dots\dots\dots (2.24)$$

dengan:

$SDR = \textit{Sediment Delivery Ratio}$

$R_b = \textit{Relief basin (mil)}$

$L = \textit{Panjang basin (mil)}$

7. Renfro (1975) dalam Ouyang dan Bartholic (1997) merumuskan SDR berdasarkan pengembangan dari persamaan Manner (1958). Persamaan dimodelkan berdasarkan hubungan antara SDR dengan luas DAS ($R^2=0,92$). Data sedimentasi yang digunakan diambil dari 14 DAS di Blackland Prairie, Texas, Amerika Serikat. Persamaan yang dihasilkan sebagai berikut:

$$\log(SDR) = 1.7935 - 0.14191 \log (A) \dots\dots\dots (2.25)$$

dengan:

$SDR = \textit{Sediment Delivery Ratio}$

$A = \textit{Luas DAS (km}^2\text{)}$

8. Boyce (1975) dalam Suripin (2002) merumuskan SDR berdasarkan data luas DAS. Persamaan yang dihasilkan sebagai Berikut:

$$SDR = 0,41 A^{-0,3} \dots\dots\dots (2.26)$$

dengan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio*

A = Luas DAS (mil²)

Jika nilai SDR mendekati 1, hal ini menunjukkan bahwa semua tanah yang terangkut erosi akan masuk kedalam sungai.

Besarnya hasil sedimen ditentukan berdasarkan rumus (DPMA, 1984 dalam (Asriadi & Pristianto, 2006).

$$Y = E \times SDR \times Ws \dots \dots \dots (2.27)$$

dengan:

Y = Besarnya laju sedimen (ton/tahun)

E = Erosi total (ton/ha/tahun)

SDR = *Sediment delivery ratio*

Ws = Luas daerah tangkapan air (ha)

9. William (1977) merumuskan SDR berdasarkan data dari 15 SubDAS di Little Elm Creek, Amerika Serikat. Persamaan SDR dimodelkan berdasarkan hubungan antara luas DAS, relief dan panjang basin serta *run off curve number* dengan $R^2 = 0,70$. Persamaan yang dihasilkan sebagai berikut:

$$SDR = 4.40 \times 10^{-12} (A)^{-0.217} (Rb/L)^{0.3940} (CN)^{5.680} \dots \dots \dots (2.28)$$

dengan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio*

A = Luas DAS (mil²)

Rb = *Relief basin* (mil)

L = Panjang *basin* (mil)

CN = *SCS Curve Number*

10. William (1977) merumuskan SDR berdasarkan data dari 15 DAS di Amerika Serikat. Persamaan SDR dimodelkan berdasarkan hubungan antara luas DAS, *relief* dan panjang *basin* serta *run off curve number* dengan $R^2 = 0,93$. Persamaan yang dihasilkan sebagai berikut:

$$SDR = 1.366 \times 10^{-11} (A)^{-0.0998} (Rb/L)^{0.3629} (CN)^{5.444} \dots \dots \dots (2.29)$$

dengan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio*

A = Luas DAS (mil²)

- Rb = *Relief basin* (mil)
 L = Panjang *basin* (mil)
 CN = SCS *Curve Numb*e

11. Auerwald (1992) dalam Suripin (2002) merumuskan persamaan SDR berdasarkan data dari DAS Bavarian. Persamaan yang dihasilkan sebagai berikut:

$$SDR = -0.02 + 0,385 A^{-0,2} \dots\dots\dots (2.30)$$

dengan:

- SDR = *Sediment Delivery Ratio*
 A = Luas DAS (mil²)

12. Suripin (1998) merumuskan persamaan SDR berdasarkan pengukuran di hulu DAS Solo pada daerah tangkapan Waduk Wonogiri. Persamaan SDR yang dihasilkan berupa hubungan antara parameter kerapatan drainase (Dd), *slope* sungai utama (SLP), Persentase hutan dan sawah (FL dan Fw). Persamaan yang dihasilkan sebagai berikut:

$$\log(SDR) = 2.31 + 3.07 \log Dd + 0.41 \log S_{LP} - 1.26 \log (F_L + F_W) \dots\dots\dots (2.31)$$

dengan:

- SDR = *Sediment Delivery Ratio*
 Dd = Kerapatan drainase/drainage density
 SLP = Slope sungai utama (%)
 FL + FW = Persentase hutan dan sawah (%)

13. Persamaan Umum

$$SDR = \left(\frac{\text{Sedimen Output}}{\text{Sedimen Input}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (2.32)$$

Sedimen output = Jumlah sedimen yang tiba di lokasi output

Sedimen input = Jumlah sedimen yang dihasilkan dari DAS

14. Persamaan Wischmeier-Smith

$$SDR = 1 - \exp \left(-0.076 \times \left(\frac{Q}{P} \right)^{0.87} \right) \dots\dots\dots (2.33)$$

dengan:

- SDR = *Sediment Delivery Ratio* (%)

- Q = Total debit aliran permukaan (*streamflow*) (m³/s)
 P = Presipitasi total (mm)

15. Persamaan Mitasova-Mitas

$$SDR = \left(\frac{\frac{Q}{P}}{1 + \frac{Q}{P}} \right) \dots \dots \dots (2.34)$$

dengan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio* (%)

Q = Total debit aliran permukaan (*streamflow*) (m³/s)

P = Presipitasi total (mm)

16. Persamaan Shrestha-Panda

$$\frac{(1 - \exp(-\alpha \times Q))}{(1 - \exp(-\alpha \times P))} \dots \dots \dots (2.35)$$

dengan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio* (%)

Q = Total debit aliran permukaan (*streamflow*) (m³/s)

P = Presipitasi total (mm)

α = Konstanta empiris

17. Persamaan *Soil Conservation Service (SCS)*

Persamaan SCS yang umum digunakan untuk mengestimasi SDR adalah persamaan yang dikembangkan oleh SCS yang dikenal sebagai *Natural Resources Conservation Service (NRCS)*. Persamaan ini juga sering disebut sebagai persamaan USLE yang telah dimodifikasi untuk mengestimasi nilai SDR. Persamaan SCS mempertimbangkan faktor-faktor seperti karakteristik fisik tanah, erosi tanah, penggunaan lahan, topografi dan praktek pengelolaan tanah. Berikut persamaan SCS untuk perhitungan SDR.

$$SDR = R \times K \times LS \times C \times P \dots \dots \dots (2.36)$$

Di mana:

R = Faktor erosi tanah dalam unit waktu dan satuan luas

K = Faktor pengelolaan tanah (praktek konservasi)

LS = Faktor topografi (panjang lereng dan kemiringan lereng)

C = Faktor penggunaan lahan dan tindak pengelolaan

P = Faktor praktek pengendalian tanah

Pemilihan persamaan empiris yang tepat untuk mengestimasi SDR pada DAS sangat tergantung pada kondisi dan konteks spesifik DAS yang sedang dianalisis. Penting untuk menggabungkan pengetahuan lokal, data yang tersedia dan evaluasi kriteria umum dalam mengestimasi SDR untuk memilih persamaan yang paling sesuai dalam konteks yang relevan.

2.5 Sistem Informasi Geografis (SIG)

2.5.1 Konsep Dasar Sistem Informasi Geografis

SIG adalah suatu komponen yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, data geografis dan sumber daya manusia yang bekerja bersama secara efektif untuk memasukan, menyimpan, memperbaiki, memperbaharui, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisis, dan menampilkan data dalam suatu informasi berbasis geografis. Data yang akan diolah pada SIG merupakan data spasial yaitu sebuah data yang berorientasi geografis dan merupakan lokasi yang memiliki system koordinat tertentu, sebagai dasar referensinya sehingga SIG dapat menampilkan lokasi, kondisi, trend, pola, dan pemodelan (Edriani, 2014).

2.5.2 Analisis Spasial

Analisis spasial sebagai suatu kemampuan umum untuk memanipulasi data spasial ke dalam bentuk yang berbeda. Data spasial yaitu data yang mengandung informasi mengenai bumi termasuk permukaan bumi, bawah permukaan bumi, perairan, kelautan, dan bawah atmosfer. Contoh data spasial yaitu letak suatu daratan, kepulauan, informasi garis lintang dan garis bujur, pegunungan dan sebagainya (Mamur, 2019).

2.5.3 Analisis Atribut

Data atribut merupakan data yang menjabarkan aspek dari suatu fenomena dalam bentuk deskripsi atau penjelasan yang terperinci. Data ini tergambar dalam bentuk kata-kata, angka, serta tabel. Data atribut yang dapat dijumpai pada data

kepadatan penduduk, data luas wilayah, jenis-jenis tanah, data demografis, dan sebagainya (Mamur, 2019).

2.5.4 Analisis Vektor

Data vektor adalah data yang direpresentasikan sebagai suatu mozaik berupa titik/point, garis (*arc/line*), polygon yaitu daerah yang dibatasi oleh garis yang berawal dan berakhir pada titik yang sama, serta nodes yaitu titik perpotongan antara dua garis. Kegunaan data vektor ini untuk menganalisis ketepatan posisi pada suatu wilayah atau mendefinisikan hubungan spasial dari beberapa fitur (Mamur, 2019).

2.5.5 Analisis Raster

Data raster atau sering juga disebut dengan sel grid merupakan data yang dihasilkan dari sistem penginderaan jauh. Pada data raster, objek geografis direpresentasikan sebagai struktur sel grid yang disebut dengan pixel (*picture element*). Resolusi pada data raster tergantung pada ukuran pixelnya dengan kata lain resolusi menggambarkan ukuran sebenarnya di permukaan bumi yang diwakili oleh setiap pixel pada citra (Mamur, 2019).