

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Hidrologi

Dalam kaitannya dengan studi tentang sedimentasi, hidrologi mempunyai peranan yang sangat penting. Salah satu faktor yang berperan adalah data hidrologi adalah dapat diketahui besarnya debit rencana sebagai dasar perencanaan bangunan air. Adapun aspek hidrologi yang perlu dikaji adalah:

2.1.1 Curah Hujan Rata-Rata Harian Maksimum

Untuk mendapatkan gambaran mengenai distribusi curah hujan di seluruh daerah aliran sungai, maka diberbagai tempat pada suatu daerah aliran sungai tersebut dipasang alat pengukur curah hujan. Untuk menghitung besarnya curah hujan daerah dalam studi ini dilakukan dengan cara Polygon Thiessen.



Gambar 2.1 Skema Polygon Thiessen

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

dimana:

A = luas areal (km²)

d = tinggi curah hujan rata-rata areal (mm)

d₁, d₂, d₃, ..., d_n = tinggi curah hujan di Pos 1, 2, 3, ..., n

A₁, A₂, A₃, ..., A_n = luas daerah pengaruh pos 1, 2, 3, ..., n

2.1.2 Curah Hujan Rencana

Curah hujan rencana adalah hujan terbesar tahunan dengan suatu kemungkinan tertentu atau hujan dengan kemungkinan periode ulang tertentu.

Dalam analisis curah hujan rencana dapat dilakukan dengan beberapa cara, misalnya Gumbel, Log Person tipe III dan sebagainya. Dalam studi ini dipakai Log Person tipe III dengan pertimbangan bahwa cara ini lebih fleksibel dan dapat dipakai untuk semua sebaran data.

Parameter statistik Log Pearson Tipe III meliputi:

1. Curah Hujan Rerata Daerah

$$\text{Log } \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log } X_i}{n} \quad (2-2)$$

2. Standar Deviasi

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2-3)$$

3. Koefisien Kepencengan.

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \text{Log } \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S_d^3} \quad (2-4)$$

Setelah tiga parameter diatas diketahui, maka dapat dihitung nilai Logaritma Curah Hujan Rancangan dengan menggunakan rumus:

$$\text{Log } X_t = \text{Log } \bar{X} + G.S_d \quad (2-5)$$

Dengan : X = Curah Hujan Rancangan

\bar{X} = Curah Hujan Rerata Daerah

G = Dari lampiran 5 tabel 5.2

Sd = Standar Deviasi

Kemudian nilai Curah Hujan Rancangan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$X_t = \text{Anti Log } X_t \quad (2-6)$$

2.1.3 Distribusi Hujan Jam-jaman

Seringkali dalam pencatatan curah hujan di suatu wilayah, hanya terdapat rekapitulasi hujan harian. Apabila data tersebut tidak ada, maka dapat digunakan metode sebaran hujan ja-jaman metode Mononobe.

Sebaran hujan jam-jaman Mononobe dinyatakan dalam rumus berikut :

$$R_t = \frac{R_{24}}{t} \times \left(\frac{t}{T} \right)^{2/3} \quad (2-7)$$

Sedangkan untuk rasio sebaran hujan, rumus yang berlaku adalah :

$$r_t = t.R_t - (t-1).R_{(t-1)} \quad (2-8)$$

Dimana :

R_{24} = Curah hujan rencana (mm/jam)

t = Lamanya curah hujan terpusat (jam)

T = Durasi hujan jam ke-n (jam)

r_t = Rasio sebaran hujan jam ke-t

2.1.4 Curah Hujan Bruto Jam-jaman

Curah hujan bruto diperoleh dari perhitungan curah hujan rencana berdasarkan metode Log-Pearson III dengan rasio hujan jam-jaman. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan sebaran hujan yang terjadi pada wilayah DAS. Rumus curah hujan bruto adalah :

$$R_b = X_t . r_t \quad (2-9)$$

Dengan :

R_b = Curah hujan bruto (mm/jam)

X_t = Curah hujan rencana (mm)

r_t = Rasio sebaran hujan (jam)

2.1.5 Hujan Netto jam-jaman

Hujan netto adalah besarnya curah hujan sebenarnya yang masuk ke suatu wilayah. Dengan diperolehnya besaran koefisien pengaliran (C) di wilayah tersebut, maka nilai curah hujan netto dapat dihitung berdasarkan curah hujan bruto sebelumnya. Adapun rumus hujan netto adalah :

$$R_n = R_b . C \quad (2-10)$$

Dimana :

R_n = Curah hujan netto (mm/jam)

Rb = Curah hujan bruto (mm/jam)

C = Koefisien pengaliran

2.2 Koefisien Pengaliran / Run-Off

Saat terjadi hujan di suatu wilayah, tidak seluruhnya limpasan hujan akan menjadi debit yang akan masuk ke dalam saluran atau sungai. Jenis kegiatan atau penggunaan lahan yang ada di suatu wilayah memiliki karakteristik sehingga memiliki nilai koefisien yang berbeda. Tabel 2.1 menunjukkan tabel koefisien pengaliran C untuk beberapa kondisi wilayah.

Tabel 2.1 Koefisien Pengaliran Untuk Berbagai Kondisi Wilayah

Type Daerah Aliran	Kondisi Daerah Pengaliran	Harga C
Rerumputan	tanah pasir, datar, 2%	0,05 - 0,10
	tanah pasir, rata-rata 2-7%	0,10 - 0,15
	tanah pasir, curam, 7%	0,15 - 0,20
	tanah gemuk, datar	0,13 - 0,17
	tanah gemuk, rata-rata 2-7%	0,18 - 0,22
	tanah gemuk, curam 7%	0,25 - 0,35
Business	daerah kota lama	0,75 - 0,95
	daerah pinggiran	0,3 - 0,70
Perumahan	daerah "single family"	0,30 - 0,50
	"multi units"terpisah-pisah"	0,40 - 0,60
	"multi units"tertutup"	0,60 - 0,75
	"suburban"	0,25 - 0,40
	daerah rumah-rumah apartemen	0,50 - 0,70
industri	daerah ringan	0,50 - 0,80
	daerah berat	0,60 - 0,90
Pertamanan		0,10 - 0,25
Tempat Bermain		0,20 - 0,35
Halaman Kereta api		0,20 - 40

2.3 Debit In Flow Tahunan

Perhitungan debit in flow tahunan digunakan untuk menentukan besarnya daya tangkapan waduk terhadap sedimen yang akan masuk ke dalam waduk. Debit tahunan ini didapat dari rata-rata dari beberapa periode debit tahunan yang masuk ke dalam waduk. Penentuan besarnya debit in flow dapat dihitung berdasarkan rumus :

$$QH = \sum_{1}^{24} \frac{q_1 + q_2 + \dots + q_{24}}{24}$$

Dimana : QH = debit rata-rata harian (m^3/dtk)

q_1 = debit jam ke-1

q_2 = debit jam ke-2

q_{24} = debit jam ke-24

$$QM = \sum_{1}^n \frac{QH}{n}$$

Dimana : QM = debit harian rata-rata dalam satu bulan (m^3/dtk)

QH = debit harian (m^3/dtk)

n = jumlah hari dalam satu bulan

$$QY = \frac{1}{12} \times \left(\sum_{1}^{12} QM \right)$$

Dimana : QY = debit rata-rata harian dalam satu tahun (m^3/dtk)

QM = debit rata-rata harian dalam satu bulan (m^3/dtk)

2.4 Erosi

2.4.1 Definisi Erosi

Erosi tanah adalah suatu proses atau peristiwa hilangnya lapisan permukaan tanah atas, baik yang disebabkan oleh pergerakan air atau angin. Proses pengikisan kulit bumi secara ilmiah ini disebut erosi alam atau dikenal juga sebagai erosi geologi. Penyebab erosi geologi ini semata-mata oleh proses alam, tanpa adanya campur tangan manusia.

2.4.2 Proses Terjadinya Erosi dan Penyebabnya

Erosi tanah terjadi melalui tiga tahap, yaitu tahap pelepasan partikel tunggal dari massa tanah dan tahap pengangkutan oleh media yang erosive seperti aliran air dan angin. Pada kondisi dimana energi yang tersedia tidak cukup untuk mengangkut partikel, maka akan terjadi tahap ketiga yaitu pengendapan.

Menurut Utomo (1994), proses erosi bermula dengan terjadinya penghancuran agregat-agregat tanah sebagai akibat pukulan air hujan yang mempunyai energi lebih besar daripada daya tahan tanah. Hancuran tanah ini akan menyumbat pori-pori tanah, maka kapasitas infiltrasi tanah akan menurun dan mengakibatkan air mengalir di permukaan tanah dan disebut sebagai limpasan permukaan. Limpasan permukaan mempunyai energi untuk mengikis dan mengangkut partikel-partikel tanah yang telah dihancurkan. Selanjutnya jika tenaga limpasan permukaan sudah tidak mampu lagi mengangkut bahan-bahan hancuran tersebut, maka bahan-bahan ini akan diendapkan.

2.4.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Laju Erosi

Secara keseluruhan terdapat lima faktor yang menyebabkan dan mempengaruhi besarnya laju erosi, yaitu iklim, tanah, topografi atau bentuk wilayah, vegetasi penutup tanah, dan kegiatan manusia. Faktor iklim yang paling menentukan dalam hal ini adalah hujan yang dinyatakan dalam “nilai indeks erosifitas hujan”.

Besar kecilnya laju erosi banyak tergantung juga terhadap sifat-sifat tanah itu sendiri yang dinyatakan sebagai “faktor erodibilitas tanah”, yaitu kepekaan tanah terhadap erosi atau mudah tidaknya tanah tersebut tererosi. Besarnya erosi dengan memperhi-tungkan kedua faktor ini saja, sedangkan faktor lainnya dianggap satu, disebut erosi potensial.

2.4.3.1 Iklim

Iklim dapat diartikan sebagai kondisi rata-rata cuaca dalam waktu yang panjang. Pengaruh iklim terhadap erosi dapat bersifat langsung atau tidak langsung. Pengaruh langsung adalah melalui tenaga kinetis air hujan, terutama intensitas dan diameter butiran air hujan. Pada hujan yang intensif dan berlangsung dalam waktu pendek, erosi yang terjadi biasanya lebih besar daripada hujan dengan intensitas lebih kecil dengan waktu berlangsungnya hujan lebih lama. Besar, intensitas, dan distribusi hujan menentukan kekuatan dispersi hujan terhadap tanah, jumlah, dan kecepatan aliran permukaan dan kerusakan erosi. Hujan memainkan peranan dalam erosi tanah melalui tenaga pelepasan dari pukulan butir-butir hujan pada permukaan tanah dan sebagian melalui kontribusinya terhadap aliran (Arsyad, 2000).

2.4.3.2 Tanah

Dalam menentukan laju erosi, ketahanan tanah memainkan fungsi ganda, meliputi ketahanan tanah terhadap daya rusak dari luar (baik oleh pukulan air hujan maupun limpasan permukaan), dan kemampuan tanah untuk menyerap air hujan (Rahim, 2003). Menurut Asdak (2002), empat sifat tanah yang penting dalam menentukan erodibilitas tanah (mudah-tidaknya tanah tererosi) adalah:

a. Tekstur tanah

Tekstur tanah berkaitan dengan ukuran dan porsi partikel-partikel tanah dan akan membentuk tipe tanah tertentu. Tiga unsur utama tanah adalah pasir (sand), debu (silt), dan liat (clay). Tanah dengan unsur dominan liat, ikatan antar partikel tanah tergolong kuat dan dengan demikian tidak mudah tererosi. Untuk tanah dengan unsur dominan pasir (tanah dengan tekstur kasar), kemungkinan untuk terjadinya erosi pada jenis tanah ini adalah rendah karena laju infiltrasi di tempat ini besar sehingga menurunkan laju air limpasan. Pada tanah dengan unsur utama debu dan pasir lembut serta sedikit unsur organik, memberikan kemungkinan yang lebih besar untuk terjadinya erosi.

b. Unsur organik

Unsur organik terdiri atas limbah tanaman dan hewan sebagai hasil proses dekomposisi. Unsur organik cenderung memperbaiki struktur tanah dan bersifat meningkatkan permeabilitas tanah, kapasitas tampung air tanah, kesuburan tanah. Kumpulan unsur organik di atas permukaan tanah dapat menghambat kecepatan air larian, dan dengan demikian menurunkan potensi terjadinya erosi.

c. Struktur tanah

Struktur tanah adalah susunan partikel-partikel tanah yang membentuk agregat. Struktur tanah mempengaruhi kemampuan tanah dalam menyerap air tanah. Misalnya, struktur tanah granuler dan lepas mempunyai kemampuan besar dalam meloloskan air limpasan, sehingga menurunkan laju air limpasan dan memacu pertumbuhan tanaman.

d. Permeabilitas tanah

Permeabilitas tanah menunjukkan kemampuan tanah dalam meloloskan air. Struktur dan tekstur tanah serta unsur organik lainnya ikut ambil bagian dalam menentukan permeabilitas tanah. Tanah dengan permeabilitas tinggi menaikkan laju infiltrasi, sehingga menurunkan laju air limpasan.

2.4.3.3 Topografi

Faktor topografi umumnya dinyatakan dalam kemiringan dan panjang lereng. Secara umum erosi akan meningkat dengan meningkatnya kemiringan dan panjang lereng. Tanah yang memiliki kemiringan akan selalu dipengaruhi oleh curah hujan, teriknya sinar matahari, dan angin yang selalu berhembus. Akibat pengaruh-pengaruh tersebut, gangguan atau kerusakan tanah akan berlangsung melalui erosi ataupun kelongsoran-kelongsoran tanah, terkikisnya lapisan-lapisan tanah yang subur/humus (Utomo, 1987:15).

2.4.3.4 Vegetasi

Vegetasi memiliki pengaruh yang bersifat melawan terhadap faktor-faktor lain yang erosif seperti hujan, topografi, dan karakteristik tanah. Vegetasi atau tanaman memiliki pengaruh terhadap erosi antara lain :

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

Efektifitas tanaman penutup dalam mengurangi erosi tergantung pada ketinggian dan kontinuitas penutupan, kerapatan penutup tanah dan kerapatan perakaran (Suripin, 2002).

2.4.3.5 Kegiatan manusia

Kegiatan manusia dikenal sebagai salah satu faktor paling penting terhadap terjadinya erosi tanah yang cepat dan intensif. Kegiatan tersebut berkaitan dengan perubahan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap erosi, misalnya penebangan hutan untuk dijadikan sebagai lahan pertanian, pertanian, atau pemukiman tanpa disertai dengan upaya reboisasi.

2.4.4 Bentuk-Bentuk Erosi

Berdasarkan bentuknya erosi dapat dibedakan menjadi:

1. Erosi Percikan (*splash erosion*)

Erosi percikan adalah terlepas dan terlemparnya partikel-partikel tanah dari massa tanah akibat pukulan butiran air hujan secara langsung.

Erosi percikan maksimum akan terjadi segera setelah tanah menjadi basah, dan kemudian akan menurun terhadap waktu sejalan dengan makin meningkatnya ketebalan air di atas permukaan tanah. Erosi percikan tidak akan menjadi masalah pada lahan atau tempat yang datar, karena percikan tanah akan tersebar secara acak ke segala arah dengan jarak yang relatif sama dari pusat butiran air hujan yang jatuh, tetapi pada lahan miring hal ini akan menjadi masalah, karena percikan tanah akan lebih dominan ke arah bawah dan jarak lemparnya juga lebih jauh ke arah bawah.

2. Erosi Aliran Permukaan (*overland flow erosion*)

Erosi aliran permukaan akan terjadi hanya dan jika intensitas atau lamanya hujan melebihi kapasitas infiltrasi atau kapasitas simpan tanah. Mengingat bahwa aliran permukaan terjadi tidak merata dan arah aliran tidak beraturan, maka kemampuan untuk mengikis tanah juga tidak sama atau tidak merata untuk semua tempat.

Faktor yang mempengaruhi tahap laju erosi permukaan adalah kecepatan dan turbulensi aliran. Pada kecepatan rendah dan aliran tenang, aliran permukaan cenderung tidak menyebabkan terjadinya erosi. Sebaliknya pada batas kecepatan tertentu aliran permukaan akan mampu mengikis permukaan tanah, hal ini terjadi bila energi aliran permukaan melebihi daya tahan tanah.

3. Erosi Alur (*rill erosion*)

Erosi alur terbentuk pada jarak tertentu ke arah bawah lereng sebagai akibat terkonsentrasinya aliran permukaan sehingga terbentuk alur-alur kecil. Jika alur yang

terbentuk merupakan alur baru, maka alur-alur tersebut tidak selalu saling berkaitan dengan alur yang terbentuk sebelumnya. Kebanyakan sistem alur tidak menerus, tidak mempunyai hubungan dengan sungai induk. Hanya kadang-kadang induk alur berkembang menjadi saluran permanen dan menyambung ke sungai.

4. Erosi Parit/selokan (*gully erosion*)

Erosi parit yang dikenal sebagai *ravine*, sama dengan erosi alur, sehingga pada mulanya erosi parit ini dianggap sebagai perkembangan lanjut dari erosi alur. Parit ditandai dengan adanya potongan depan tangga atau titik-titik penyempitan sepanjang alurnya. Parit juga mempunyai kedalaman yang relatif besar dengan lebarnya yang sempit, mengangkut beban sedimen yang tinggi dan sangat tidak teratur, sehingga korelasi antara debit sedimen dan aliran biasanya jelek. Parit hampir selalu berkaitan erat dengan percepatan erosi disertai dengan ketidakstabilan penampakan muka tanah (*landscape*).

5. Erosi Tebing Sungai (*stream bank erosion*)

Erosi tebing sungai adalah erosi yang terjadi akibat pengikisan tebing oleh air yang mengalir dari bagian atas tebing atau oleh terjangan arus air sungai yang kuat terutama pada tikungan-tikungan. Erosi tebing akan lebih hebat jika tumbuhan penutup tebing telah rusak atau pengolahan lahan terlalu dekat dengan tebing.

6. Erosi Internal (*internal or subsurface erosion*)

Erosi internal adalah proses terangkutnya partikel-partikel tanah ke bawah masuk ke celah-celah atau pori-pori akibat adanya aliran bawah permukaan. Akibat dari erosi ini dapat menyebabkan tanah menjadi kedap air dan udara, sehingga menurunkan kapasitas infiltrasi dan meningkatkan aliran permukaan atau erosi alur. Pengaruh erosi ini tidak menyebabkan tanah secara langsung tetapi berpengaruh secara tidak langsung, yaitu meningkatkan aliran permukaan, dan pembentukan selokan-selokan kecil akibat runtuhnya saluran-saluran air yang ada di bawah permukaan. Erosi jenis ini hanya terjadi di tanah-tanah tertentu yang kurang baik untuk pertanian.

7. Erosi Longsor (*land slide*)

Tanah longsor merupakan bentuk erosi dimana penangkutan atau gerakan massa tanah terjadi pada suatu saat dalam volume yang relatif besar. Ditinjau dari segi gerakannya, ada beberapa erosi akibat gerakan massa tanah, yaitu:

1. Rayapan (*creep*)
2. Runtuhan batuan (*rock fall*)
3. Aliran lumpur (*mudflow*)

Longsoran terjadi sebagai akibat meluncurnya suatu volume tanah di atas suatu lapisan agak kedap air yang jenuh air. Lapisan kedua air dapat berupa tanah liat atau mengandung kadar tanah liat yang tinggi, atau dapat juga berupa lapisan batuan, seperti napal liat (*clay shale*).

2.4.5 Pendugaan Laju Erosi Berdasarkan Metode USLE/PUKT

Untuk memperkirakan besarnya laju erosi dalam dapat digunakan metode USLE (Universal Soil Loss Equation) atau PUKT (Persamaan umum Kehilangan Tanah) yang dikembangkan oleh Weischmeir dan Smith (1965,1978). USLE memungkinkan prediksi laju erosi rata-rata lahan tertentu pada suatu kemiringan dengan pola hujan tertentu untuk setiap macam jenis tanah dan penerapan pengelolaan lahan. USLE dirancang untuk memprediksi erosi jangka panjang dari erosi lembar (*sheet erosion*) dan erosi alur dibawah kondisi tertentu. Persamaan tersebut dapat juga untuk memprediksi erosi pada lahan-lahan non pertanian tetapi tidak dapat untuk memprediksi pengendapan dan tidak memperhitungkan hasil sedimen dari erosi parit, tebing sungai dan dasar sungai (Suripin, 2002). Persamaan USLE adalah sebagai berikut :

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (2-10)$$

dengan :

A = Banyaknya tanah tererosi per satuan luas per satuan waktu, yang dinyatakan sesuai dengan satuan K dan periode R yang dipilih, dalam praktek dipakai satuan ton/ha/tahun.

R = Faktor erosivitas hujan dan aliran permukaan, yaitu jumlah satuan indeks erosi hujan, yang merupakan perkalian antara energi hujan total (E) dan intensitas hujan maksimum 30 menit (I30), satuan dalam KJ/ha.

K = Faktor erodibilitas tanah, yaitu laju erosi per indeks erosi hujan (R) untuk suatu tanah yang diperoleh dari petak percobaan yang panjangnya 22,13 m dengan kemiringan seragam sebesar 9% tanpa tanaman, satuan ton/KJ.

LS = Faktor panjang dan kemiringan lereng, yaitu nisbah antara besarnya erosi per indeks erosi dari suatu lahan dengan panjang dan kemiringan lahan tertentu terhadap besarnya erosi dari plot lahan dengan panjang 22,13 m dan kemiringan 9%, dibawah keadaan yang identik, tidak berdimensi.

C = Faktor tanaman penutup laha dan manajemen tanaman, yaitu nisbah antara besarnya erosi dari suatu lahan dengan penutup tanaman dan manajemen tanaman tertentu terhadap lahan yang identik dengan tanaman, tidak berdimensi.

P = Faktor tindakan konservasi praktis, yaitu nisbah antara besarnya erosi dari suatu lahan dengan tindakan konservasi praktis dengan besarnya erosi dari tanah yang diolah searah lereng dalam keadaan yang identik, tidak berdimensi.

2.4.5.1 Indeks Erosivitas (R)

Erosivitas merupakan kemampuan hujan untuk menyebabkan terjadinya erosi. Menurut Asdak (2002), erosivitas hujan adalah tenaga pendorong yang menyebabkan terkelupasnya dan terangkutnya partikel-partikel tanah ke tempat yang lebih rendah. Hujan menyebabkan erosi tanah melalui dua jalan, yaitu pelepasan butiran tanah oleh pukulan air hujan pada permukaan tanah dan kontribusi hujan terhadap aliran.

Untuk menghitung indeks erosivitas membutuhkan data curah hujan yang diperoleh dari stasiun pencatatan hujan. Indeks erosivitas hujan (R) didefinisikan sebagai jumlah satuan indeks erosi hujan dalam setahun. Bols (1978) dalam Suripin (2002) berdasarkan penelitiannya di Pulau Jawa dan Madura mendapatkan persamaan sebagai berikut:

$$R = 6,119 \cdot P_b^{1,211} \cdot N^{0,474} \cdot (P_{\max})^{0,526} \quad (2-11)$$

Dengan :

R = Indeks erosi hujan tahunan (KJ/tahun)

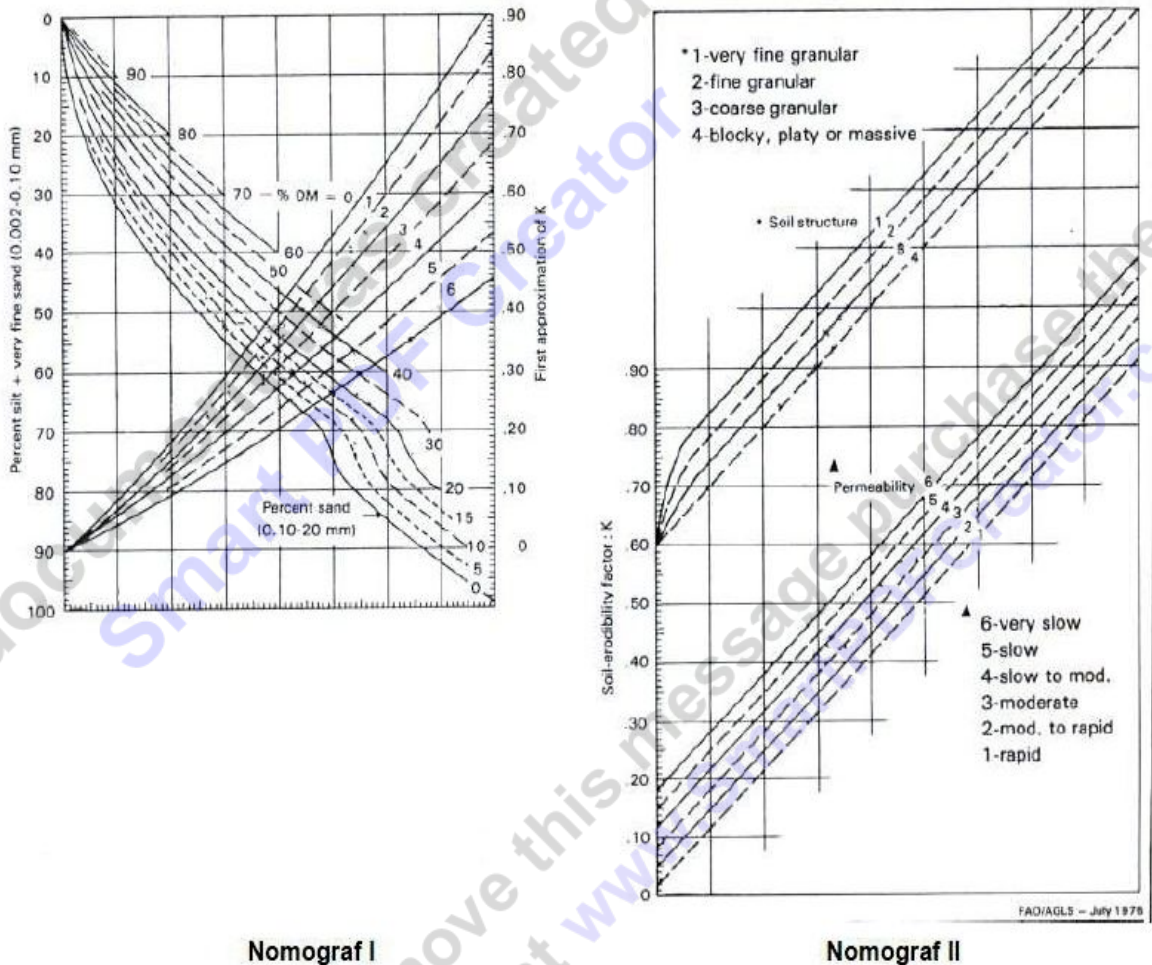
P_b = Curah hujan bulanan (cm)

N = Jumlah hari hujan per bulan

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

2.4.5.2 Indeks Erodibilitas (K)

Erodibilitas tanah, atau faktor kepekaan erosi tanah adalah daya tahan tanah terhadap pelepasan dan pengangkutan, terutama tergantung pada sifat-sifat tanah, seperti tekstur, stabilitas agregat, kekuatan geser, kapasitas infiltrasi, kandungan bahan organik dan kimiawi (Suripin, 2002 : 73). Gambar 2.2 menunjukkan nomograf untuk mencari nilai K, sedangkan tabel 2.2 dan 2.3 menunjukkan klasifikasi nomograf. Apabila suatu jenis tanah mempunyai nilai K (faktor erodibilitas) yang tinggi maka semakin tinggi pula kemungkinan untuk tererosi.



Gambar 2.2 Nomograf Untuk Menentukan Nilai Erodibilitas (K)

Tabel 2.2 Klasifikasi Struktur Menggunakan Nomograf

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

Tabel 2.3 Klasifikasi Permeabilitas Menggunakan Nomograf

Kelas	Keterangan	Permeabilitas (cm/jam)
1	Cepat	> 12,5
2	Agak cepat	6,25 – 12,5
3	Sedang	2,00 – 6,25
4	Agak Lambat	0,50 – 2,00
5	Lambat	0,125 – 0,50
6	Sangat lambat	< 0,125

Cara membaca nomograf :

Nomograf I :

- a. Ikuti secara horizontal sampai bertemu kurva persentase pasir (*sand*) yang sesuai, kemudian interpolasikan pada angka persentase yang paling dekat.
- b. Ikuti secara vertikal sampai mendapatkan angka kandungan unsur organik yang sesuai.
- c. Lanjutkan penelusuran secara horizontal ke arah kanan, menyentuh nomograf II.

Nomograf II :

- a. Penelusuran secara horizontal dari nomograf I di atas (lanjutan dari butir c) di atas, sampai menemukan kurva struktur tanah yang sesuai.
- b. Dari perpotongan tersebut, lanjutkan penelusuran secara vertikal sampai menemukan kurva permeabilitas yang sesuai.
- c. Lanjutkan penelusuran secara horizontal ke arah skala erodibilitas tanah yang berada di sisi kiri dari bagian nomograf II untuk mendapatkan nilai faktor K.

Selain berdasarkan nomogram, perhitungan nilai K juga dapat dilakukan berdasarkan tabel 2.4 berikut dengan mengetahui jenis tanah wilayah tersebut. Apabila dalam suatu wilayah terdapat berbagai jenis tanah, maka perlu dihitung juga koefisien luas wilayah tersebut. Sehingga untuk menghitung nilai K_{total} adalah :

$$K_{total} = \frac{K_1 \times A_1 + K_2 \times A_2 + \dots + K_n \times A_n}{A_{total}}$$

Dimana :

K_1, K_2, \dots, K_n = Nilai erodibilitas jenis tanah pertama, kedua, ..., ke-n

A_1, A_2, \dots, A_n = Luasan area jenis tanah pertama, kedua, ..., ke-n

A_{total} = Luasan total wilayah yang diukur

Tabel 2.4 Nilai K Pada Berbagai Jenis Tanah

No	Jenis Tanah	Bahan Induk	Nilai K
1	Latosol Dermaga (Haplortknox)	Tuff Vulkan	0,03
2	Latosol Citayan (Haplortknox)	Tuff Vulkan	0,09
3	Regosol Tanjungharjo (Troporthens)	Batu liat berkapur	0,14
4	Grumosol Jegu (caromunderts)	Napal	0,27
5	Podsolik Jenggol (Tropodults)	Batu liat	0,16
6	Mediteran Citaman (Troponumults)	Tuff Vulkan	0,1
7	Mediteran Putat (Trpudalis)	Breksi berkapur	0,23
8	Mediteran Punung (Tropuqualis)	Breksi berkapur	0,22
9	Latosol merah (Humox)	Breksi berkapur	0,12
10	Regosol (oxidystropept)		0,12
11	Latosol merah kuning		0,26
12	Latosol coklat (Typic Naplortnox)		0,23
13	Lithosol pada lereng tajam (Lytic Tropotlnerrt)		0,27
14	Regosol di atas Kolovium (oxy Dystropept)		0,16
15	Regosol puncak bukit (typic entropept)		0,29
16	Gley humic (typic tropaguept)		0,13(clay) 0,26(siltyclay)
17	Litosol (Litnic eutripept/orthen)		0,16 (clay) 0,26(siltyclay)
18	Grumosol (caromunderts)		0,16
19	Regosol (typic dystropept)		0,31
20	latosol coklat (epyguic Tropodults)		0,31
21	Gley Numic di atas teras (tropaguept)		0,2
22	Hidromorf abu-abu (tropolluent)		0,2
23	Andosol Batu		0,08-0,10

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

Kemiringan suatu lereng dapat dinyatakan dalam satuan derajat atau persen (%), lereng dinyatakan mempunyai kemiringan 10 % jika perbandingan panjang kaki dan tinggi adalah 10 : 100. Jadi suatu lereng dengan kemiringan 100 % (panjang kaki dan tinggi berarti sama) berarti sama dengan kemiringan 45 derajat.

Kemiringan mempengaruhi kecepatan dan volume limpasan permukaan. Pada dasarnya makin curam suatu lereng, jadi persentase kemiringan makin tinggi, makin cepat laju limpasan permukaan. Jadi dengan meningkatnya persentase kemiringan, erosi akan semakin besar (Utomo, 1994).

Panjang lereng mempengaruhi energi untuk erosi, terutama karena panjang lereng mempengaruhi volume limpasan permukaan yang lebih besar sehingga kemampuan untuk mengerosi tanah juga lebih besar. Dalam pendugaan erosi faktor lereng dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut (Utomo, 1994):

$$LS = [(L/136) \cdot (100 + (0,965 S) + (0,138 S^2))]^{0,5} \quad (2-12)$$

Dengan: LS = Faktor panjang dan kemiringan lereng

L = Panjang lereng (m)

S = Kemiringan lereng (%)

Perhitungan nilai faktor panjang dan kemiringan lereng juga dapat menggunakan cara Eyles jika panjang dan kemiringan lereng telah diketahui, maka nilai faktor panjang lereng dan nilai faktor kemiringan lereng dapat diestimasi dengan menggunakan Tabel 2.5 dan Tabel 2.6 berikut (Anonim, 1998).

Tabel 2.5 Nilai Faktor Panjang Lereng Dan Kelas Drainase

Klas Drainase	Rata-rata Panjang Lereng (m)	Nilai L
A	50	1,5
B	75	1,8
C	150	2,7
D	300	3,7

Tabel 2.6 Nilai Faktor Kemiringan Lereng (S)

Klas Lereng	Kemiringan (%)	Rata-Rata Nilai
I	0-3	0,1
II	3-8	0,5
III	8-15	1,4
IV	15-25	3,1
V	25-40	4,1
VI	40-65	11,9

Sumber : Isa Darma Wijaya (1970 dalam Eko Hermanto,2006)

2.4.5.4 Faktor Tanaman (C)

Faktor tanaman (C) ialah perbandingan antara besarnya erosi dari lahan yang ditanami suatu jenis tanaman terhadap besarnya erosi tanah yang tidak ditanami dan

diolah bersih (Arsyad, 2000). Kemampuan tanaman untuk menutup tanah, sehingga menghambat laju erosi, akan mempengaruhi besar kecilnya nilai C.

Dari berbagai hasil penelitian Pusat Penelitian Tanah, Bogor terhadap beberapa daerah di Jawa, nilai faktor C untuk berbagai tanaman dan pengelolaan tanaman dapat dilihat pada Tabel 2.7 sebagai perkiraan. Pada penelitian ini, pengelolaan tanaman, pemilihan bibit, pengolahan tanah, waktu tanam, dan pemeliharaan semuanya sesuai anjuran Dinas Pertanian.

Tabel 2.7 Faktor C Untuk Berbagai Jenis Tanaman dan Pengelolaan Tanaman

Jenis Lahan/ Tata Guna Lahan	Nilai C
Tanaman rumput (<i>Brachiaria</i> sp.)	0,290
Tanaman kacang jogo	0,161
Tanaman Gandum	0,242
Tanaman ubi kayu	0,363
Tanaman kedelai	0,399
Tanaman serai wangi	0,434
Tanaman padi lahan kering	0,560
Tanaman padi lahan basah	0,010
Tanaman jagung	0,637
Tanaman jahe, cabe	0,900
Tanaman kentang ditanam searah lereng	1,000
Tanaman kentang ditanam searah kontur	0,350
Pola tanam tumpang gilir (jagung+padi+ubi kayu setelah panen ditanami kacang tanah) + mulsa jerami (6ton/ha/th)	0,079
Pola tanam berurutan + mulsa sisa tanaman	0,347
Pola tanam berurutan (padi-jagung-kacang tanah)	0,398
Kebun campuran	0,357
Pola tanam tumpang gilir + mulsa sisa tanaman	0,200
Ladang berpindah	0,400
Tanah kosong diolah	1,000
Tanah kosong tidak diolah	0,950
Hutan tidak terganggu	0,001
Semak tidak terganggu	0,010
Alang-alang permanen	0,020
Alang-alang dibakar	0,700
Sengon disertai semak	0,012
Sengon tidak disertai semak dan tanpa seresah	1,000
Pohon tanpa semak	0,320
Tegalan tidak dispesifikasi	0,700
Kacang tanah	0,200
Tebu	0,200
Pisang	0,600
Rumput bede (tahun pertama)	0,287
Rumput bede (tahun kedua)	0,002
Kopi dengan penutup tanah buruk	0,200
Talas	0,850

Kebun campuran : - kerapatan tinggi	0,100
- kerapatan sedang	0,200
- kerapatan rendah	0,500
Hutan alam serasah kurang	0,005
Hutan produksi : - tebang habis	0,500
- tebang pilih	0,200
Semak belukar/padang rumput	0,300
Ubi kayu + kedelai	0,181
Ubi kayu + kacang tanah	0,195
Padi – sorghum	0,345
Padi – kedelai	0,417
Kacang tanah + gude	0,495
Kacang tanah + kacang tunggak	0,571
Kacang tanah + mulsa jerami 4 ton/ha	0,049
Padi + mulsa jerami 4 ton/ha	0,096
Kacang tanah + mulsa jagung 4 ton/ha	0,128
Kacang tanah + mulsa Crotalaria 3 ton/ha	0,136

Sumber : Suripin, 2002 : 79

2.4.5.5 Faktor Pengolahan Tanah (P)

Faktor P ialah perbandingan antara besarnya erosi dari lahan dengan suatu tindakan konservasi tertentu terhadap besarnya erosi pada lahan yang diolah tanpa tindakan konservasi, dengan catatan faktor-faktor penyebab erosi yang lain diasumsikan tidak berubah. Tingkat erosi yang terjadi sebagai akibat pengaruh aktivitas pengelolaan dan konservasi tanah (P) bervariasi, terutama tergantung pada kemiringan lereng (Asdak, 2002).

Praktek bercocok tanam yang kondusif terhadap penurunan kecepatan limpasan permukaan dan yang memberikan kecenderungan bagi limpasan permukaan untuk mengalir langsung ke tempat yang lebih rendah dapat memperkecil nilai P. Di ladang pertanian, besarnya harga faktor P menunjukkan jenis aktivitas pengolahan tanah (pencangkulan dan persiapan tanah lainnya).

Beberapa nilai P untuk berbagai tindakan konservasi disajikan dalam Tabel 2.8 berikut ini.

Tabel 2.8 Nilai P Pada Berbagai Aktivitas Konservasi Tanah di Jawa

Jenis Lahan/ Tata Guna Lahan	Nilai P
1. Teras bangku :	
a. Konstruksi baik	0,04
b. Konstruksi sedang	0,15
c. Konstruksi kurang baik	0,35
d. Teras Tradisional	0,40
2. Strip tanaman rumput Bahia	0,40

3. Pengolahan tanah dan penanaman menurut garis kontur :	
a. kemiringan 0-8 %	0,50
c. kemiringan >20 %	0,75
b. kemiringan 9-20 %	0,90
4. Tanpa tindakan konservasi	1,00

Sumber : Suripin, 2002 : 81

2.5 Sedimentasi

2.5.1 Pengertian Sedimentasi

Sedimentasi merupakan proses kelanjutan dari peristiwa erosi atau peristiwa terkikisnya permukaan akibat air hujan. Tanah tersebut mengalir melalui cekungan-cekungan, saluran-saluran air, kemudian masuk ke sungai. Sungai selain berfungsi sebagai sarana mengalirkan air juga dapat berfungsi sebagai pengangkut bahan-bahan material yang berupa sedimen (Qohar, 2002). Sedimen yang terbawa hanyut oleh aliran air terdiri dari dua muatan yaitu berupa muatan dasar (*bed load*) maupun muatan melayang (*suspended load*). Muatan dasar yaitu berupa material yang bergerak dalam aliran sungai dengan cara bergulir, meluncur, dan meloncat-loncat di atas permukaan dasar sungai. Sedangkan muatan melayang yaitu butiran-butiran halus yang ukurannya lebih kecil yang senantiasa melayang di dalam air (Suyono & Tominaga, 1985).

Sumarto (1995) mendefinisikan sedimentasi sebagai pengangkutan melayangnya (*suspended*) atau mengendapnya fragmental oleh air akibat adanya erosi. Dampak yang ditimbulkannya yaitu:

1. Di sungai, pengendapan sedimen di dasar yang menyebabkan naiknya dasar sungai, kemudian menyebabkan tingginya permukaan air sehingga dapat mengakibatkan banjir yang menimpa lahan-lahan yang tidak di lindungi (*unprotected land*). Hal tersebut dapat mengakibatkan aliran mengering dan mencari alur baru.
2. Di saluran, apabila saluran irigasi atau saluran pelayaran dialiri oleh air penuh dengan sedimen maka akan terjadi pengendapan sedimen di dasar saluran. Hal ini menjadikan suatu permasalahan untuk mengeruk sedimen tersebut diperlukan biaya yang cukup besar sehingga menyebabkan terhentinya operasi saluran.
3. Di waduk-waduk, pengendapan sedimen di waduk-waduk akan mengurangi volume efektifnya. Sebagian besar jumlah sedimen yang dialirkan oleh waduk

adalah sedimen yang dialirkan oleh sungai-sungai yang mengalir kedalam waduk, hanya sebagian kecil yang berasal dari longsoran tebing-tebing waduk oleh limpasan permukaan. Butir-butir yang kasar akan diendapkan di bagian hulu waduk, sedangkan yang halus diendapkan di dekat bendungan. Jadi, sebagian besar akan diendapkan di bagian volume aktif waduk dan sebagian dapat dibilas ke bawah, apabila terjadi banjir pada saat permukaan air waduk masih rendah.

4. Di bendungan atau pintu-pintu air yang menyebabkan kesulitan dalam mengoperasikan pintu-pintu tersebut. Adanya pembentukan pulau-pulau pasir (*sand bars*) di sebelah hulu bendungan atau pintu air akan mengganggu aliran air yang melalui bendungan atau pintu air. Bahaya penggerusan terhadap bagian hilir bangunan terjadi apabila beban sedimen di sungai tersebut berkurang karena pengendapan di bagian hulu bendungan, maka aliran dapat mengangkut material alas sungai.

Di daerah sepanjang sungai, seperti yang telah dijelaskan diatas, banjir akan lebih sering terjadi di daerah yang tidak dilindungi. Daerah yang dilindungi oleh tanggul akan aman selama tanggulnya selalu dipertinggi sesuai dengan kenaikan dasar sungai, dan permukaan airnya akan mempengaruhi drainase daerah sekitarnya, lama-kelamaan drainase dengan cara gravitasi sudah tidak mungkin lagi. Faktor utama yang mempengaruhi gerakan sedimen (transport sedimen) di sungai adalah : berat jenis butiran dan kecepatan aliran dan morfologi sungai. Perencanaan waduk di dalamnya selalu disediakan sebagian volume penampungan yang disebut volume mati (*dead storage*). Selama sedimen masih mengisi volume mati, waduk masih bisa beroperasi secara normal. Laju sedimentasi pada waduk sangat dipengaruhi oleh kondisi daerah tangkapan air waduk tersebut. Beberapa faktor yang mempengaruhi laju sedimen di waduk adalah : tipe tanah, kemiringan lahan, penutupan vegetasi, karakter hujan dan tata guna lahan (Sumarto, 1995).

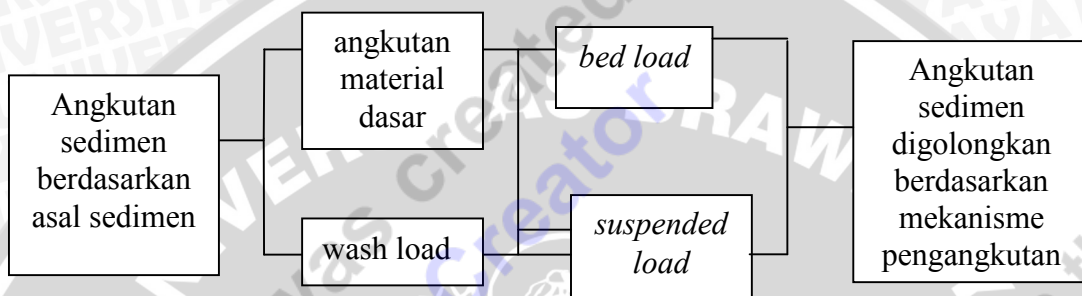
Sedimentasi waduk dapat mengurangi volume banjir efektif waduk, mempengaruhi kualitas air waduk, mengurangi pengendalian banjir, ketersediaan air, kekuatan air untuk turbin, dan keuntungan rekreasi (Yang, 1996).

Disiplin ilmu angkutan sedimen memberikan rumus-rumus hasil penelitian yang dapat digunakan untuk pedoman pengumpulan data dan melakukan hitungan perkiraan laju sedimen pada waduk, karena endapan sedimen secara akumulatif semakin

lama semakin banyak yang akan menyebabkan waduk tidak berfungsi secara memadai (Sudjarwadi, 1989).

2.5.2 Jenis Sedimen

Sedimen merupakan proses terkikisnya butiran tanah yang berpengaruh penting terhadap perencanaan, pengembangan, pemanfaatan dan pemeliharaan sumber daya air. Angkutan sedimen yang terdapat di dalam waduk dapat diuraikan berdasarkan klasifikasi seperti gambar 2.3 di bawah ini.

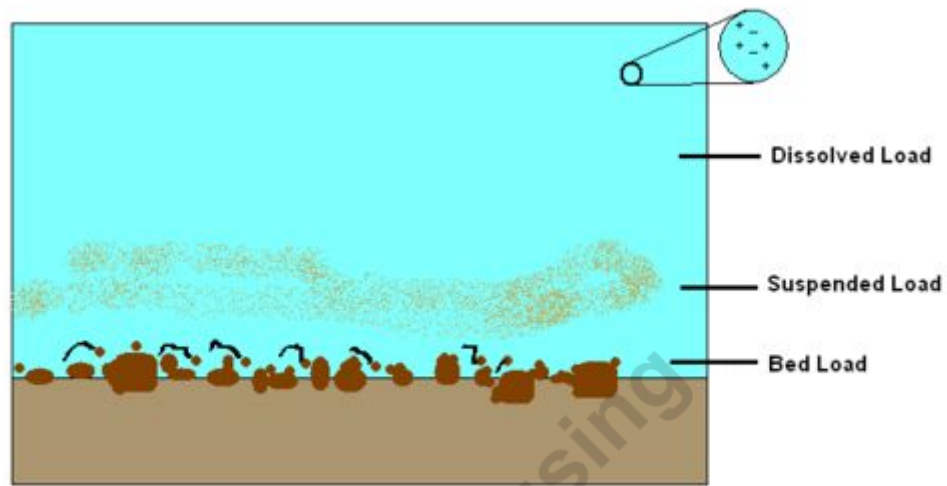


Gambar 2.3 Diagram Penggolongan Angkutan Sedimen (Rouf, 2004)

Wash load adalah muatan partikel-partikel halus berupa lempung (*Silt*), dan debu (*Dust*), yang terbawa oleh aliran sungai (Rouf, 2004). Partikel-partikel ini akan terbawa oleh aliran sampai laut, atau dapat mengendap pada aliran yang tenang atau yang tergenang. *Wash load* biasanya berupa butiran halus dan berlindung diantara butir-butir yang lebih besar, baru terangkat jika tidak mempengaruhi dasar sungai (Mardjikoen, 1987).

Suspended load atau sedimen melayang dapat dikatakan sebagai material dasar sungai (*bed load*) yang bergerak melayang di dalam aliran sungai yang terdiri dari sebagian besar butiran-butiran pasir halus yang senantiasa didukung oleh air. Pada sungai pendek *suspended load* dapat dianggap tetap konsentrasinya, tetapi pada seluruh alur sungai konsentrasinya dapat bervariasi (Kironoto, 2001).

Bed load merupakan partikel-partikel kasar yang bergerak sepanjang dan dekat dengan dasar sungai secara keseluruhan. *Bed load* ini dapat berupa gerakan-gerakan partikel-partikel dasar seperti bergeser, menggelinding, atau meloncat-loncat, akan tetapi tidak pernah lepas dari dasar sungai. Sedimen sangat tergantung pada debit aliran yang terjadi di daerah aliran sungai. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Skema Distribusi Angkutan Sedimen

Total volume endapan musiman atau tahunan terhadap dasar waduk yang dilewati sungai dapat ditentukan dengan cara melaksanakan pemetaan topografi waduk secara berkala. Pengukuran dilakukan pada penampang-penampang melintang waduk yang telah ditetapkan. Besaran sedimen yang masuk dan terendap di dasar waduk dihitung dengan cara membandingkan kapasitas waduk yang diukur dari dua waktu yang berbeda.

2.5.3 Distribusi Sedimen Waduk

Aliran air sungai yang membawa sedimen ke dalam waduk dengan kecepatan yang besar dari aliran itu akan berangsur-angsur berkurang. Sedimen tersebut terdiri dari partikel melayang (*suspended load*), yang berukuran besar dan muatan dasar (*bed load*) akan mengendap membentuk delta di bagian hulu waduk. Sedangkan untuk partikel yang berukuran kecil akan tetap melayang dan terangkut oleh aliran dan akan mengendap di bagian hilir. Partikel-partikel yang lebih kecil dapat tetap melayang dan sebagiannya mungkin akan melewati waduk bersama-sama dengan aliran yang melalui alur buangan, turbin, atau pelimpah.

Distribusi endapan sedimen dalam waduk dipengaruhi oleh :

1. Pengoperasian waduk
2. Tekstur atau ukuran partikel sedimen
3. Bentuk waduk
4. Volume sedimen

Dari keempat faktor diatas yang paling utama adalah bentuk waduk karena penting untuk menentukan distribusi endapan sedimen dalam waduk.

2.5.4 Berat Jenis Sedimen

Berat jenis sedimen adalah perbandingan antara berat butir sedimen dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu (Petunjuk praktikum Mekanika Tanah, 2007). Sebab, dengan mengetahui berat jenis sedimen, maka kita akan dapat mengetahui karakteristik dan jenis tanah yang masuk ke dalam waduk. Dari hasil ini juga kita bisa memperkirakan areal DAS manakah yang memberi andil besar dalam pengendapan di waduk. Hal ini berguna terutama untuk perbaikan wilayah DAS yang kritis akibat erosi. Jika ukuran partikel sedimen cenderung halus (clay), maka penentuan volume dapat menggunakan *piknometer*. Namun, apabila ukuran partikel cenderung berbutir kasar (sand), maka kita dapat menggunakan labu ukur yang diisi air.

Perhitungan berat jenis sedimen dapat menggunakan rumus di bawah ini :

$$Sg = \frac{Gt \cdot Ws}{Ws + W1 - W2} \quad (2-13)$$

dimana Gt = berat jenis air pada Tc ,

Tc = suhu air selama pengujian

Ws = berat tanah kering

$W1$ = berat labu uku + air + tanah

$W2$ = berat labu + air

2.5.5 Perhitungan Laju Sedimen

Masuknya aliran sungai ke dalam waduk akan selalu membawa angkutan sedimen, dimana ada sebagian yang mengendap, sementara yang lainnya akan terus mengalir mengikuti aliran air. Hal ini tentu menyebabkan pendangkalan waduk tersebut. Pengaruh waduk terhadap aliran sungai asli adalah terhadap kecepatan aliran akan lebih lambat dan kemiringan permukaan air akan menjadi kecil, sehingga menyebabkan daya angkut sungai terhadap sedimen menjadi berkurang dan memiliki kecenderungan untuk mengendap di dasar waduk. Dengan demikian, waduk dapat dipandang sebagai suatu media untuk mengukur angkutan sedimen total dari sungai-sungai yang alirannya masuk waduk.

Akumulasi sedimen sungai yang mengendap di dalam waduk akan mengurangi kapasitas waduk. Apabila dapat diketahui volume dari berkurangnya kapasitas waduk dalam jangka waktu tertentu, maka laju sedimentasi waduk setiap tahunnya dapat dihitung :

$$\text{Laju sedimen} = \frac{\text{berat jenis} \times (\text{volume saat ini} - \text{volume sebelumnya})}{\text{jumlah tahun}} \quad (2-14)$$

Dalam menentukan laju sedimen waduk, perlu diperhatikan debit sedimen yang masuk waduk tersebut dan berat jenis spesifik dari endapan sedimen.

2.6 Menghitung besar sedimentasi dengan metode SDR (*Sediment Delivery Ratio*)

Dari proses sedimentasi, hanya sebagian aliran sedimen di sungai yang diangkut keluar dari DAS, sedangkan yang lain mengendap di lokasi tertentu dari sungai. Bahan sedimen hasil erosi seringkali bergerak menempuh jarak yang pendek sebelum akhirnya diendapkan. Sedimen ini masih tetap berada di lahan atau diendapkan di tempat lain yang lebih datar atau sebagian masuk ke sungai.

Persamaan umum untuk menghitung sedimentasi suatu DAS belum tersedia, untuk lebih memudahkan dikembangkan pendekatan berdasarkan luas area. Rasio sedimen terangkut dari keseluruhan material erosi tanah disebut Nisbah Pelepasan Sedimen (*Sediment Delivery Ratio / SDR*) yang merupakan fungsi dari luas area. Perhitungan Nisbah Pelepasan Sedimen (*Sediment Delivery Ratio*) atau cukup dikenal dengan SDR adalah perhitungan untuk memperkirakan besarnya hasil sedimen dari suatu daerah tangkapan air.

Perhitungan besarnya SDR dianggap penting dalam menentukan prakiraan yang realistis besarnya hasil sedimen total berdasarkan perhitungan erosi total yang berlangsung di daerah tangkapan air. Hubungan antara besarnya hasil sedimen dan besarnya erosi total yang berlangsung di daerah tangkapan air umumnya bervariasi. Variabilitas ini ditentukan oleh : sumber sedimen, jumlah sedimen, sistem transpor, tekstur partikel-partikel tanah yang tererosi, lokasi deposisi sedimen dan karakteristik DAS (Asdak C., 2007)

Besarnya SDR dalam perhitungan-perhitungan erosi atau hasil sedimen untuk suatu daerah aliran sungai dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\text{SDR} = \frac{\text{Hasil sedimen yang diperoleh}}{\text{Erosi total pada suatu DAS}} \quad (2-15)$$

Sedang total sedimen yang diperbolehkan dalam suatu DAS adalah hasil kali SDR dengan toleransi erosi untuk tanah, besarnya toleransi erosi untuk tanah

menurut Thompson (1957) tergantung dari sifat tanah dan letaknya. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 2.9 berikut.

Tabel 2.9 Toleransi Erosi Untuk Tanah (Thompson, 1957)

No	Sifat tanah dan substratum	Toleransi erosi (ton/ha/tahun)
1	Tanah dangkal, di atas batuan	1,12
2	Tanah dalam, di atas batuan	2,24
3	Tanah dengan lapisan di bawahnya (<i>subsoil</i>) padat di atas substratum yang tidak terkonsolidasi (telah mengalami pelapukan)	4,48
4	Tanah dengan lapisan di bawahnya berpermeabilitas lambat, di atas bahan yang tidak terkonsolidasi	8,96
5	Tanah dengan lapisan di bawahnya berpermeabilitas sedang, di atas bahan yang tidak terkonsolidasi	11,21
6	Tanah yang lapisan baeahnya permeable, di atas bahan yang tidak terkonsolidasi	13,45

(sumber : Sitanala, Arsyad, 2000)

Hasil sedimen dari suatu daerah aliran tertentu dapat ditentukan dengan pengukuran pengangkutan sedimen terlarut (*suspended sediment*) pada titik kontrol dari alur sungai. Karena adanya proses transport sedimen yang terjadi akibat aliran air sungai maka akan berakibat pada pendangkalan-pendangkalan dan terbentuknya tanah-tanah baru di daerah pinggir-pinggir sungai dan delta-delta sungai.

Berdasarkan pada jenis sedimen dan ukuran partikel-partikel tanah serta komposisi mineral dari bahan induk yang menyusunnya dikenal berbagai jenis sedimen seperti pasir, liat dan lainnya tergantung pada ukuran partikelnya. Menurut ukurannya, sedimen dibedakan menjadi beberapa jenis seperti pada Tabel 2.10 (Dunne & Leopold, 1978 dalam Asdak C, 2007).

Tabel 2.10 Jenis Sedimen Berdasarkan Ukuran Partikel

Jenis sedimen	Ukuran partikel (mm)
Liat	<0.0039
Debu	0.0039-0.0625
Pasir	0.0625-2.00
Pasir besar	2.00-64

(Sumber : Asdak C. 2007)

Besarnya perkiraan sedimen menurut Asdak C.2007 dapat ditentukan melalui persamaan berikut.

$$Y = A \cdot (SDR) \cdot Ws \quad (2-16)$$

Dimana Y = Hasil sedimen per satuan luas

A = Jumlah erosi

Ws = Luas DAS

SDR = *Sediment Delivery Ratio* (Nisbah Pelepasan Sedimen)

2.7 Prediksi Umur Layanan (*Useful life*) Waduk

Umur layanan waduk dapat ditentukan dengan dua metode (Qohar, 2002), yaitu sebagai berikut :

1. Perkiraan umur layanan berdasarkan kapasitas tampungan mati (*dead storage*).

Perkiraan ini didasarkan atas perhitungan pada beberapa waktu yang dibutuhkan oleh sedimen untuk mengisi kapasitas tampungan mati. Dengan diketahuinya besarnya kapasitas tampungan mati dan besarnya kecepatan (laju) sedimen yang mengendap, maka akan diketahui waktu yang dibutuhkan sedimen untuk mengisi/menutup pada daerah tampungan mati. Seiring bertambahnya umur waduk maka akan semakin berkurang kapasitas tampungan matinya, yang akan berdampak menjadi terganggunya pelaksanaan operasional waduk. Oleh karena itu hal tersebut dapat dijadikan suatu acuan untuk memprediksikan kapan kapasitas tampungan mati waduk itu akan terisi penuh oleh sedimen.

2. Perkiraan umur layanan berdasarkan besarnya distribusi sedimen yang mengendap di tampungan.

Cara ini digunakan untuk menentukan umur operasi waduk berdasarkan hubungan fungsi antara luas genangan dengan elevasi genangan dan kapasitas tampungan matinya. Patokan elevasi pintu pengambilan dijadikan sebagai acuannya.

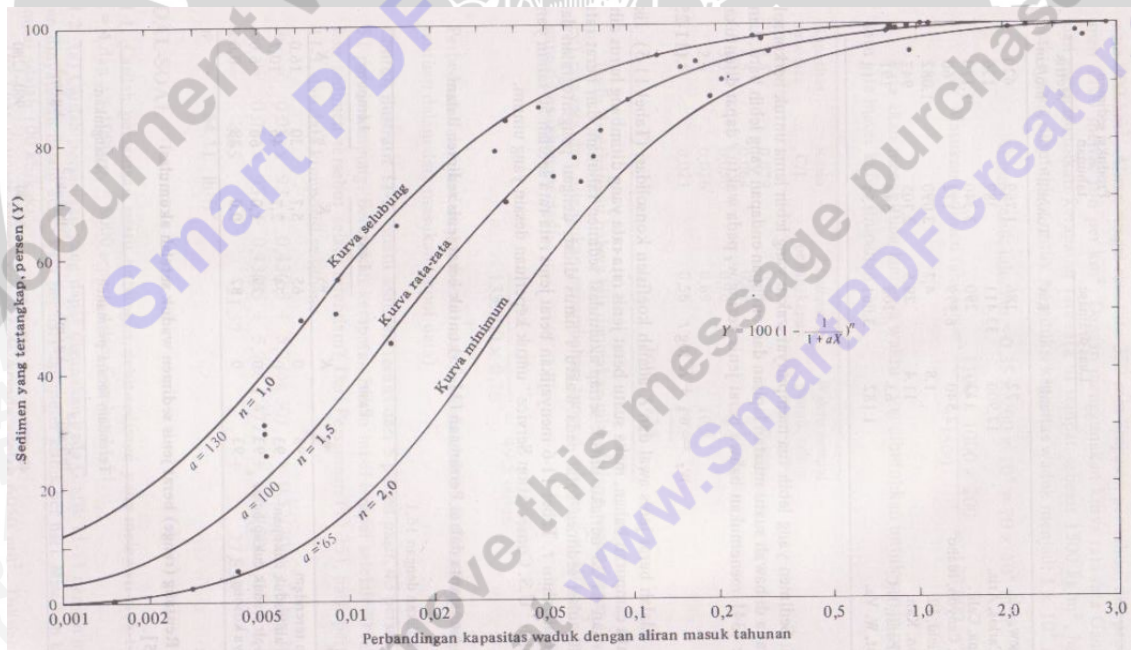
Sehingga apabila elevasi pintu pengambilan akan dicapai oleh elevasi endapan sedimen, maka kegiatan operasional waduk akan terganggu, dan akhirnya secara teknis akan mengakibatkan waduk tidak dapat berfungsi sama sekali.

2.8 Efisiensi Tangkapan Waduk

Sedimen yang masuk ke waduk tidak seluruhnya mengendap, namun ada sebagian yang diteruskan keluar bendungan. Definisi *trap efficiency* adalah rasio dari jumlah sedimen terendap terhadap total masukan sedimen.

Suatu perkiraan dan efisiensi tangkapan waduk dalam menangkap sedimen telah dibuat oleh Brune (1953) yang menghubungkan persentase sedimen yang tertangkap terhadap rasio kapasitas waduk dan aliran masuk tahunan..

Hubungan antara aliran air dan sedimen terlarut yang masuk waduk terhadap volume air dan limpahan yang keluar beserta sedimen terlarutnya dapat dinyatakan dalam grafik pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Grafik Efisiensi Tangkapan

Berdasarkan gambar 2.5 di atas, untuk menghitung nilai efisiensi tangkapan waduk berdasarkan pembacaan grafik pada penentuan efisiensi tangkapan waduk, maka persamaan rumus dapat ditulis berikut :

$$Y = 100 \cdot \left(1 - \frac{1}{1+aX}\right)^n \quad (2-17)$$

Dimana : X = C/I = diambil dari kurva rata-rata (nilai a = 100, n = 1,5)

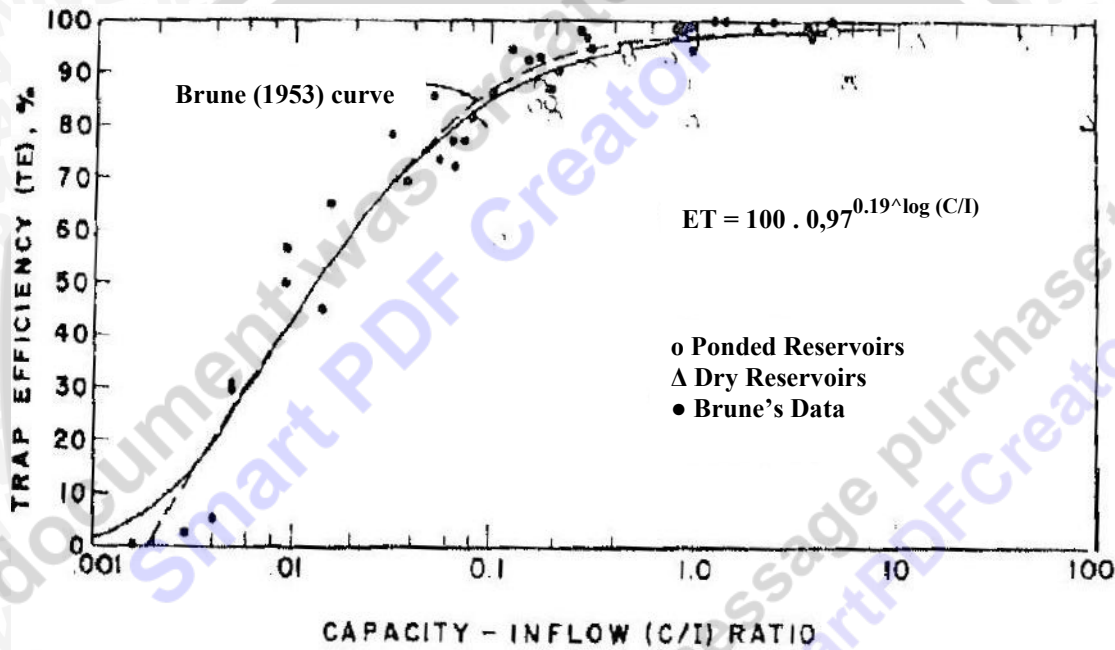
Y = efisiensi tangkapan waduk (*trap efficiency*)

Selain itu, ada rumus lain yang dapat digunakan dalam perhitungan *trap efficiency*. Adapun rumus yang digunakan adalah Metode Gunnar Brune, dengan perbandingan antara kapasitas tampungan waduk (C) dengan *in flow* tahunan (I) atau dapat dituliskan dengan persamaan (C/I) :

$$ET = 100 \cdot 0,97^{0,19 \log (C/I)} \quad (2-18)$$

Dimana ET = Efficiency Trap (efisiensi tangkapan waduk).

Besaran nilai ET dapat dirangkum dalam grafik pada gambar 2.6 berikut ini.



Gambar 2.6 Grafik Brune

Pada rumus kedua ini, didasarkan atas bentuk kurva yang dibuat oleh Brune diperoleh dengan mengkombinasikan data beberapa waduk di AS. Brune mengasumsikan bahwa trap efficiency mencapai 100 % untuk nilai rasio C/I yang besar dan nol untuk nilai ekstrim bawahnya. Pada saat data *inflow* belum diperoleh, Brune juga mengasumsikan bahwa *inflow* sama dengan *outflow*.