

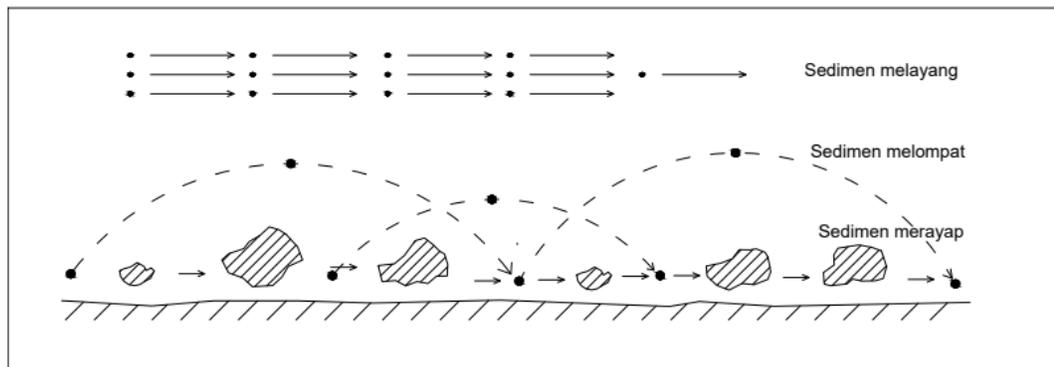
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Awal Gerak Butir Sedimen

Gerak butir sedimen disebabkan karena adanya arus yang menggerakkan air pada permukaan butiran. Pergerakan dari butiran itu sendiri sangat abstrak dan tidak teratur sehingga sangat sulit untuk mendefinisikan dengan pasti sifat atau kondisi aliran yang menyebabkan butiran sedimen mulai bergerak dari kondisi kritis (awal gerak butir sedimen).

Proses transport sedimen adalah begitu sedimen memasuki badan sungai, maka berlangsunglah transport sedimen. Kecepatan transport merupakan fungsi dari kecepatan aliran sungai dan ukuran partikel sedimen. Partikel sedimen ukuran kecil seperti tanah liat dan debu dapat diangkut aliran air dalam bentuk terlarut (*wash load*). Sedangkan partikel yang lebih besar antara lain, cenderung bergerak dengan cara melompat. Partikel yang lebih besar dari pasir, misalnya kerikil (*gravel*) bergerak dengan cara merayap atau menggelinding di dasar sungai (*bed load*) Asdak (2014), seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Transport sedimen dalam aliran air sungai (Asdak, 2014)

Dalam mendefinisikan awal gerak butir sedimen dilakukan dengan beberapa pendekatan (Rendy, 2021) yaitu:

1. Sudah ada satu butir sedimen yang bergerak
2. Sejumlah butir sedimen untuk bergerak
3. Butir material dasar secara umum sudah bergerak
4. Terjadi pergerakan butir sedimen dan awal gerak sedimen adalah situasi saat jumlah transport sedimen sama dengan nol

2.2 Sedimen Dan Sedimentasi

Sedimen adalah material hasil proses erosi, baik berupa erosi permukaan, erosi parit, atau erosi lainnya. Sedimen umumnya mengendap di bagian bawah kaki bukit, di daerah genangan banjir, saluran air, sungai dan waduk. Hasil sedimen (*sediment yield*) adalah besarnya sedimen yang berasal dari erosi yang terjadi di daerah tangkapan air yang diukur pada periode waktu dan tempat tertentu. Proses erosi terdiri atas tiga bagian yaitu, pengelupasan (*detachment*), pengangkutan (*transportation*), dan pengendapan (*sedimentation*) (Asdak, 2014).

Sedimentasi adalah proses pengendapan material batuan secara gravitasi yang dapat terjadi di daratan, zona transisi (garis pantai) atau di dasar laut karena diangkat dengan media angin, air maupun es. Pada saat pengikisan batuan hasil pelapukan terjadi, materialnya terangkut oleh angin maupun air sehingga ketika kekuatan dari pengangkutan material batuan berkurang maka batuan akan diendapkan di daerah alirannya (Hari dkk, 2020)

Berdasarkan pada jenis sedimen dan ukuran partikel-partikel tanah serta komposisi mineral dari bahan induk yang menyusunnya, dikenal bermacam jenis sedimen seperti pasir, liat, dan lain sebagainya. Tergantung dari ukuran partikelnya, sedimen ditemukan terlarut dalam sungai yang disebut muatan sedimen (*suspended sedimen*) dan merayap di dasar-dasar sungai atau dikenal sebagai sedimen merayap (*bed load*) (Asdak, 2010).

Menurut ukurannya, sedimen dibedakan menjadi beberapa jenis ukuran (Asdak, 2010). Beberapa jenis sedimen berdasarkan ukuran diameternya dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 jenis sedimen berdasarkan ukurannya

Jenis sedimen	Ukuran partikel
Liat	<0,0039
Debu	0,0039-0,0625
Pasir	0,0625-2,0
Pasir besar	2,0-64,0

Sedimentasi yang dihasilkan oleh proses erosi dan terbawa oleh aliran air akan diendapkan ada suatu tempat yang kecepatan alirannya melambat atau terhenti. Peristiwa pengendapan ini dikenal dengan peristiwa atau proses sedimentasi. Proses sedimentasi berjalan sangat kompleks, dimulai dari jatuh yang menghasilkan energi kinetik yang merupakan permulaan dari proses erosi. Begitu tanah menjadi partikel halus, lalu menggelinding bersama aliran, sebagian lainnya masuk ke sungai terbawa aliran menjadi angkutan sedimen.

Proses sedimentasi dapat dibedakan menjadi dua bagian (Artia dkk, 2018) yaitu:

- a. Proses sedimentasi secara geologi, sedimentasi secara geologi merupakan proses erosi tanah yang berjalan secara normal, artinya proses pengendapan yang berlangsung masih dalam batas-batas yang diperkenankan atau dalam keseimbangan alam dari proses degradasi dan agradasi pada peralatan kulit bumi akibat pelapukan.
- b. Proses sedimentasi yang dipercepat, sedimentasi yang dipercepat merupakan proses terjadinya sedimentasi yang menyimpang dari proses secara geologi dan berlangsung dalam waktu yang cepat, bersifat merusak atau merugikan dan dapat mengganggu keseimbangan alam atau kelestarian lingkungan hidup.

Kejadian tersebut biasanya disebabkan oleh kegiatan manusia dalam mengolah tanah. Cara mengolah tanah yang salah dapat menyebabkan erosi tanah dan sedimentasi yang tinggi.

2.3 Angkuta Sedimen (*Transport sedimen*)

Dasar sungai biasanya tersusun oleh endapan material angkutan sedimen yang terbawa oleh aliran sungai dan material tersebut dapat terangkut kembali apabila kecepatan aliran cukup tinggi. Angkutan sedimen dapat bergerak, bergeser di sepanjang dasar sungai atau bergerak melayang pada aliran sungai, tergantung dari pada komposisi serta kondisi aliran.

Berikut ini disajikan pembagian angkutan sedimen (Soewarno, 2000)

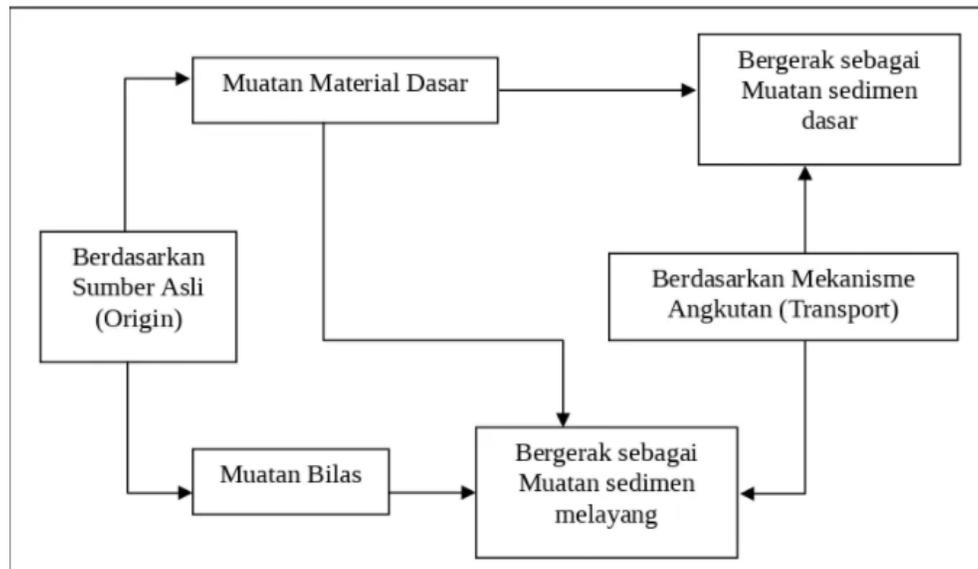
Menurut asalnya angkutan sedimen dibedakan menjadi:

1. Muatan material dasar (*bed material load*)
2. Muatan bilas (*wash load*)

Sedangkan menurut mekanisme pengangkutannya angkutan sedimen dibedakan menjadi:

1. Muatan sedimen layang (*suspended load*)
2. Muatan sedimen dasar (*bed load*)

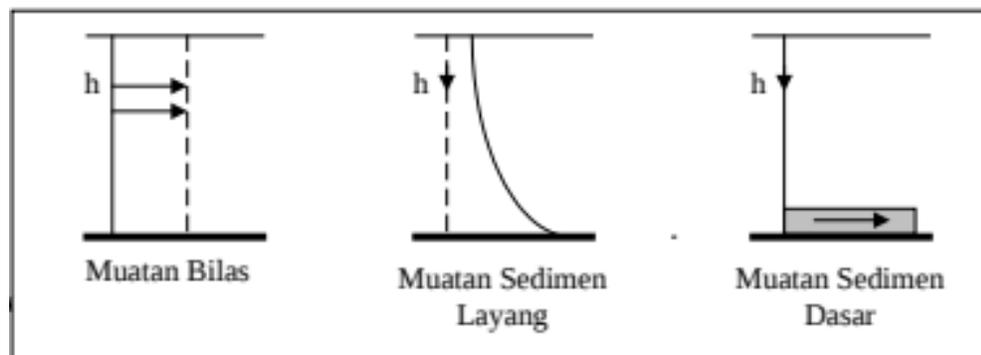
Secara skematik angkutan sedimen dapat digambarkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skema Angkutan Sedimen (Soewarno, 2000)

Menurut Mardjikoen (1988), angkutan sedimen secara umum terbagi menjadi sedimen dasar (*bed load*), sedimen layang (*suspended load*) dan sedimen loncat (*saltation load*), sedangkan proses sedimentasi meliputi proses erosi, transportasi, pengendapan (*deposition*) dan pemadatan (*compaction*) dari sedimen tersebut. Proses ini berlangsung cukup kompleks, dimulai dari proses jatuhnya hujan yang kemudian menghasilkan energi kinetik. Energi kinetik ini mampu melakukan pengikisan butiran tanah. Hasilnya sebagian terbawa oleh aliran air masuk ke sungai, sebagian hanya berpindah ke tempat lain

Berikut klasifikasi sedimen dapat digambarkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 klasifikasi angkutan sedimen (Soewarno, 2000)

2.4 Muatan Bilas (*wash load*)

Muatan bilas (*wash load*) adalah angkutan partikel-partikel halus berupa lempung (*silt*) dan debu (*dust*), yang terbawa oleh aliran sungai. partikel-partikel ini akan terbawa aliran sungai sampai ke laut, atau dapat juga terendam pada aliran tenang atau pada air yang tergenang.

Ukuran butir muatan bilas adalah paling kecil dari ukuran butir seluruh angkutan sedimen. Sumber utama dari muatan sedimen adalah hasil pelapukan lapisan atas batuan atau tanah daerah pengaliran sungai (soewarno, 2000).

Penyebaran konsentrasi muatan bilas di dalam suatu garis kedalaman adalah *uniform*, kecuali perbedaan konsentrasi akibat dari aliran turbulen. untuk mengukur muatan bilas adalah mudah tetapi diperlukan analisa laboratorium untuk menentukan besarnya konsentrasi, berdasarkan sample lapangan yang diukur. Muatan bilas hanya dapat diambil dengan alat ukur sedimen yang dapat menangkap ukuran partikel lebih kecil dari 50 mikro meter, misalnya menggunakan alat ukur sedimen US *Depth-Integrating* atau US *Point-Integrating sampler* (Soewarno, 1991).

2.5 Sedimen Melayang (*suspended load*)

Muatan sedimen melayang (*suspended load*) dapat dipandang sebagai material dasar sungai (*bed material*) yang melayang di dalam aliran sugai dan terdiri terutama dari butiran- butiran pasir halus yang senantiasa di dukung oleh air dan hanya sedikit sekali interaksinya dengan dasar sungai, karena selalu di dorong ke atas oleh turbolensi aliran (Soewarno, 2000).

Muatan sedimen melayang dapat dibedakan menjadi tiga keadaan, yaitu (Soewarno, 2000).

1. Apabila tenaga gravitasi partikel sedimen lebih besar dari pada tenaga turbulensi aliran, maka partikel sedimen akan mengendap dan akan terjadi pendangkalan (*agradasi*) pada dasar sungai,
2. Apabila tenaga gravitasi partikel sedimen sama dengan turbulensi aliran, maka akan terjadi keadaan seimbang (*equilibrium*) dan partikel sedimen tersebut tetap konstan terbawa aliran sungai ke arah hilir,
3. Apabila tenaga gravitasi partikel sedimen lebih kecil dari pada tenaga turbulensi aliran, maka dasar sungai akan terkikis dan akan terjadi penggirisan (*degrasi*) pada dasar sungai.

2.6 Sedimen Dasar (*bed load*)

Muatan sedimen dasar merupakan partikel-partikel kasar yang bergerak pada dasar sungai secara keseluruhan. Gerakannya bisa bergeser, menggelinding atau meloncat-loncat, tetapi tidak pernah lepas dari dasar sungai. Gerakan ini kadang-kadang meliputi lapisan dasar ditandai bercampurnya butiran partikel tersebut bersama-sama bergerak ke arah hilir. Pada umumnya alur sungai di bagian hulu angkutan *bed load* merupakan bagian yang terbesar dari seluruh jumlah sedimen (Soewarno, 2000).

2.7 Karakteristik Sedimen

Karakteristik sedimen adalah penggambaran dari sedimen itu sendiri yang mana didalam karakteristik sedimen terdapat Ukuran (*size*), berat jenis (*specific gravity*) dan kecepatan jatuh (*fall velocity*).

2.7.1 Ukuran Partikel Sedimen

Ukuran butir sedimen merupakan salah satu karakteristik yang paling penting dan banyak digunakan dalam persamaan transport sedimen.

Ukuran butiran direpresentasikan:

- a) Diameter nominal (d_n), yaitu diameter bola yang mempunyai volume yang sama dengan volume butiran.
- b) Diameter jatuh (*fall velocity*), yaitu diameter bola dengan berat jenis spesifik 2,65 yang mempunyai kecepatan jatuh butir standar.
- c) Diameter sedimen, yaitu diameter bola yang mempunyai berat dan kecepatan endapan butir sedimen, dalam zat cair yang sama dan pada kondisi yang sama.
- d) Diameter saringan, di mana paling sering digunakan dengan ukuran butir sedimen diukur dengan saringan standar pengukuran diameter butir sedimen, dengan cara ini dilakukan untuk butir yang mempunyai diameter lebih besar dari pada 0,0625 mm, sesuai dengan ukuran saringan terkecil.

Menurut besarnya ukuran sedimen dapat digolongkan pada Tabel 2.1

Ackers-White dan Yalin mendefinisikan parameter butir adalah:

- a) Diameter partikel

$$D^* = D_{50} \left[\frac{(s-1)g}{\nu^2} \right]^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

D_{50} = Diameter media dari material dasar

s = Kerapatan jenis

ν = Koefisien kekentalan kinematik

b) Bilangan *reynolds*

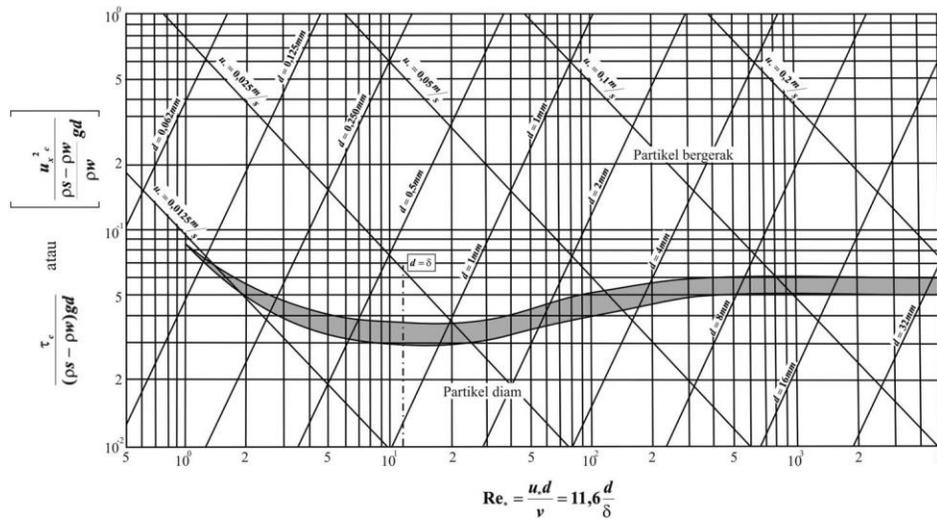
$$R_c = \frac{U \cdot d}{\nu} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

R_c = bilangan *reynolds*

d = diameter sedimen

ν = Viskositas kinematik



Gambar 2.4 Grafik *shield*

2.7.2 Berat Jenis Sedimen

Berat jenis (*specific gravity*) sedimen adalah rasio butir berat partikel sedimen terhadap berat volume air (Ponce, 1989). Berat jenis sendiri adalah perbandingan antara berat tanah (γ_s) dan berat air (γ_w).

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

G_s = Berat jenis (gr/cm^3)

γ_s = Berat volume partikel (gr/cm^3)

γ_w = Berat volume air (gr/cm^3)

Tabel 2.2 Berat Jenis Tanah (*specific gravity*) (Hardiyatmo, 2012)

Jenis Tanah	Gs (ton/m ³)
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau Organik	2,62 - 2,68
Lempung Organik	2,58 - 2,65
Lempung Anorganik	2,68 - 2,75
Gambut	< 2

2.7.3 Kecepatan Jatuh Partikel Sedimen

Kecepatan jatuh (*fall velocity*) partikel merupakan kecepatan akhir sedimen untuk mengendap pada air diam. Menurut ponce (1998), kecepatan jatuh merupakan fungsi ukuran, berat jenis partikel, volume partikel dan kekentalan air disekitarnya. Untuk partikel dengan bentuk yang tidak bulat (*spherical*), kecepatan jatuhnya dapat dinyatakan dengan:

$$w = \left[\frac{gd^2}{18\nu} \right] \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \right) \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

w = Kecepatan jatuh (m/s)

g = Percepatan gravitasi = 9,81 m/s²

d_s = Diameter partikel (mm)

ρ_s = Berat jenis partikel (kg/m²)

ρ_w = Berat jenis air (kg/m²)

2.8 Analisa Angkutan Sedimen

2.8.1 Analisis Angkutan Sedimen Metode Sesaat

Persamaan yang digunakan untuk menghitung sedimen melayang (*suspended load*) adalah sebagai berikut:

$$Q_s = k.C.Q_w \dots \dots \dots (5)$$

Dimana;

Q_s = Debit sedimen melayang (ton/hari)

C = Konsentrasi sedimen melayang (mg/ltr atau g/m³)

Q_w = Debit sungai (m³/det)

Untuk besarnya nilai $k = 0,0864$ apabila Q_s dalam ton/hari dan besaran nilai $k = 1$ apabila Q_s dalam kg/detik (soewarno, 2013).

Untuk persyaratan penggunaan Metode Sesaat dibutuhkan nilai C (konsentrasi sedimen melayang) yang diambil dari uji TSS.

2.8.2 Analisis Angkutan Sedimen Metode L. C. Van Rijn

Sedimen melayang (*suspended load*) bergerak bersama dengan aliran air sungai. Sedimen Dasar (*bed load*) merupakan angkutan partikel sedimen yang disebabkan oleh kecepatan aliran yang relatif rendah, sehingga butiran yang semula diam akan mengelinding dan meluncur di sepanjang saluran dasar.

Untuk menghitung debit sedimen melayang (*suspended load*) dan laju angkutan sedimen dasar (*bed load*), maka yang perlu diketahui adalah sebagai berikut:

- a) Diameter partikel (D^*)

$$D^* = D_{50} \left[\frac{(s-1)}{v^2} \right]^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana:

D_{50} = Ukuran butiran partikel (m)

s = Kerapatan jenis

g = Percepatan gravitasi = 9.81 m/det²

v = koefisien kekentalan kinematik = 1.10^{-6} m²/detik

- b) Menghitung stage parameter (T)

$$T = \frac{(U^*)^2 - (U^*_{cr})^2}{(U^*_{cr})^2} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana:

U^* = $\left(\frac{\sqrt{g}}{C'}\right)U$ = Kecepatan geser dasar (m/detik)

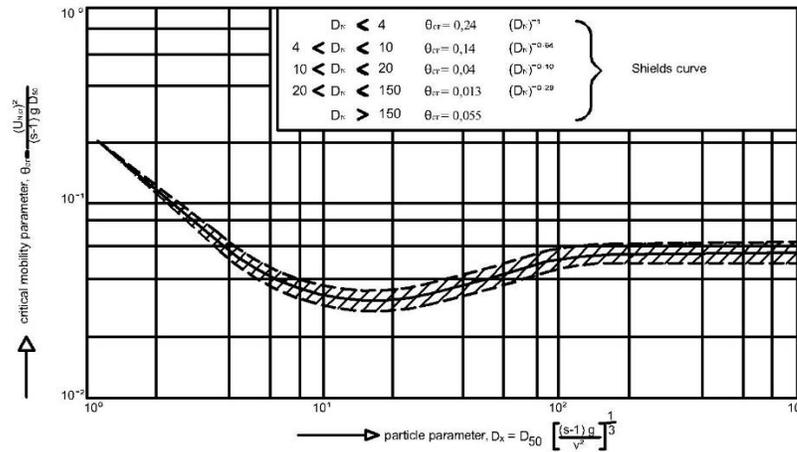
U = Kecepatan aliran rata-rata (m/detik)

$(U *_{cr})^2 = (s-1) g D_{50} \emptyset_{cr}$ = Kecepatan geser dasar kritis (m/detik)

\emptyset_{cr} = Diperoleh dari persamaan diagram *Shield* yang dapat dilihat pada Gambar 2.5

C' = $18 \log \left(\frac{12 R_b}{3 D_{90}} \right)$ = Koefisien Chezy

R_b = Jari-jari Hidrolika (m)



Gambar 2.5 Grafik *Shield* (van Rijn, 1984)

Dalam perhitungan nilai $R_b = y$ karena menurut Robert J. Kodoatie apabila sungai lebar maka nilai $R_b = y$

c) Menghitung tinggi acuan (a)

$a = 0,5 \Delta$ dan $a_{min} = 0,01 d$ (8)

d) Menghitung konstanta acuan (C_a)

$C_a = 0.015 \frac{D_{50}^{1,5}}{aD^{0,3}}$ (9)

e) Menghitung ukuran partikel sedimen melayang (D_s)

$D_s = (1 + (0.011(\sigma_s - 1)(T - 25))) D_{50}$ (10)

Dimana:

$\sigma_s = \frac{1}{2} \left[\frac{D_{84} D_{16}}{D_{50} D_{50}} \right]$ (11)

f) Menghitung kecepatan jatuh sedimen melayang (w_s)

$$w_s = 10 \frac{v}{D_s} \left\{ \left[1 + \frac{0.01 \Delta D_s^3}{v^2} \right]^{\frac{1}{2}} - 1 \right\} \dots \dots \dots (12)$$

g) Menghitung β -faktor

$$\beta = 1 + 2 \left[\frac{W_s}{D_s} \right]^2 \dots \dots \dots (13)$$

h) Menghitung faktor koreksi (ϕ)

$$\phi = 2,5 \left[\frac{W_s}{U^*} \right]^{0.8} \left[\frac{C_a}{c_o} \right]^{0.4} \dots \dots \dots (14)$$

i) Menghitung parameter tersuspensi (z) dan (z')

$$z = \frac{W_s}{\beta 0,4 U^*} \text{ dan } z' = z + \phi \dots \dots \dots (15)$$

j) Menghitung F-faktor

$$F = \frac{\left[\frac{a}{d} \right]^{z'} \left[\frac{a}{d} \right]^{1,2}}{\left[1 - \frac{a}{d} \right]^{z'} (1,2 - z')} \dots \dots \dots (16)$$

k) Sedimen melayang (*suspendedn load*) per meter lebar

$$q_s = F \cdot U \cdot d \cdot c_a \dots \dots \dots (17)$$

l) Sedimen dasar (*bed load*) per meter lebar

$$q_b = 0,053 (\Delta g)^{0.5} D_{50}^{1,5} D^{*0,3} T^{2,1} \dots \dots \dots (18)$$

Dimana:

q_b = Total sedimen dasar (*bed load*) parameter lebar ($m^3 \cdot \text{detik}$)

$D^* = D_{50} \left(\frac{\Delta g}{v^2} \right)^{\frac{1}{3}}$ = parameter partikel

$\Delta = \frac{\rho_s \rho_w}{\rho_w}$ = berat relatif

Persyaratan untuk perhitungan angkutan sedimen menggunakan metode L. C. Van Rijn adalah:

1) Sedimen Melayang (*suspended load*)

Muatan sedimen melayang (*suspended load*) bergerak bersama dengan aliran air sungai di samping itu dalam sedimen melayang juga terdapat sedimen bilas yang berukuran sangat kecil, berikut adalah persyaratan yang digunakan untuk menghitung sedimen melayang:

- Ukuran butiran sedimen D_{16}
- Ukuran butiran sedimen D_{50}
- Ukuran butiran sedimen D_{84}
- Ukuran butiran sedimen D_{90}

2) Sedimen Dasar (*bad load*)

Persyaratan untuk metode ini hanya berlaku untuk ukuran butir 0,2 mm sampai 2 mm, jika hasil ukuran butir yang didapat dari sample kurang dari 0,2 mm maka metode ini tidak dapat digunakan. Untuk persyaratan dari metode ini adalah:

- Ukuran butiran sedimen D_{50}
- Ukuran butiran sedimen D_{90}

2.8.3 Analisis Angkutan Sedimen Metode Meyer-Peter-Muller

Dalam hal menghitung banyaknya sedimen yang turut diangkat pada suatu aliran sungai, digunakan rumus yang lazim digunakan dalam teknik hidrolika di Indonesia yaitu rumur Meyer-Peter-Muller (MPM).

Rumus ini didukung oleh data laboratorium mekanika tanah dari grafik analisa butiran contoh endapan, yaitu diameter partikel yang melalui saringan D_{50} (mm), D_{90} (mm), berat jenis sedimen (kg/m^3) (Soewarno, 2013). Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$q_b = \Phi_X \sqrt{\left\{ \frac{(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w} \right\} \cdot g D_{50}^3} \dots\dots\dots(19)$$

Selanjutnya langkah perhitungan adalah sebagai berikut:

- a) Menghitung koefisien kekasaran Manning

Bila kecepatan aliran V (m/detik) sudah dihitung, maka nilai n dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut ini:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(21)$$

- b) Menghitung nilai n' ditentukan dengan persamaan dari Muller

$$n' = \frac{D_{90}^{\frac{1}{6}}}{26} \dots\dots\dots(21)$$

- c) Hitung jari-jari hidrolis yang menampung muatan sedimen dasar

$$R' = R \left(\frac{n'}{n} \right)^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots(22)$$

- d) Menghitung Intensitas Pengaliran

$$\Psi = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \cdot \frac{D_{50}}{R \left(\frac{n'}{n} \right)^{\frac{3}{2}} I} \dots\dots\dots(23)$$

- e) Menghitung Intensitas Angkutan Sedimen

$$\Phi = \left(\left(\frac{\Psi}{\psi} \right) - 0.188 \right)^{1.5} \dots\dots\dots(24)$$

- f) Laju angkutan sedimen seluruh lebar dasar sungai

$$Q_b = q_b \cdot W \dots\dots\dots(25)$$

Dimana:

Φ	= Intensitas angkutan sedimen
ρ_s	= Rapat massa sedimen (ton/m^3)
ρ_w	= Rapat massa air (ton/m^3)
g	= Percepatan gravitasi bumi = $9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}$
D_{50}	= Diameter partikel sedimen yang tertahan pada saringan (mm)
\bar{U}	= Kecepatan rata-rata aliran (m/det)
I	= Kemiringan atau <i>slope</i>
q_b	= Total sedimen dasar per meter lebar ($\text{m}^3\text{/detik/m}$)
h	= Kedalaman air (m)

Persyaratan untuk perhitungan angkutan sedimen menggunakan metode Meyer-Peter-Muller adalah partikel sedimen yang digunakan untuk ukuran butir yang seragam dalam kisaran 0,4 mm sampai 30 mm dengan berat jenis sedimen $1,25 \text{ ton/ m}^3$ sampai $4,0 \text{ ton/ m}^3$ dan pada kondisi kemiringan dasar saluran 4×10^{-4} sampai 2×10^{-2} .

Untuk persyaratan untuk metode ini adalah:

- Ukuran butiran sedimen D_{50}
- Ukuran butiran sedimen D_{90}

2.8.4 Analisis Angkutan Sedimen Metode Einstein

Untuk menggunakan persamaan Einstein sama dengan penggunaan persamaan MPM. Tetapi Einstein menggunakan ukuran butir d_{35} dan MPM menggunakan d_{50} . Umumnya penggunaan keduanya tidak menunjukkan perbedaan yang besar (Soewarno, 2013).

Dari pendekatan Einstein:

Laju muatan sedimen dasar per unit lebar dasar sungai dihitung dengan rumus:

$$q_b = \Phi \times \sqrt{\left\{ \frac{(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w} \right\}} \cdot g D_{35}^3 \dots\dots\dots(26)$$

Laju muatan sedimen seluruh lebar dasar sungai adalah:

$$Q_b = q_b \cdot W \dots\dots\dots(27)$$

Persyaratan untuk perhitungan angkutan sedimen menggunakan metode Einstein adalah dimana partikel sedimen yang dapat digunakan untuk ukuran butir yang seragam dalam kisaran 0,4 mm sampai 30 mm dengan berat jenis sedimen 1,25 ton/ m³ sampai 4,0 ton/ m³ dan pada kondisi kemiringan dasar saluran 4×10^{-4} sampai 2×10^{-2}

Untuk persyaratan untuk metode ini adalah:

- Ukuran butiran sedimen D_{35}
- Ukuran butiran sedimen D_{90}

2.9 Analisis Laju Angkutan Sedimen Metode DuBoys

Metode DuBoys memiliki konsep bahwa pengangkutan dimulai dimana tegangan gesek atau gaya angkut pada alas mencapai nilai kritis. Kemudian laju pengangkutannya dipandang sebagai fungsi dari perbedaan antara tegangan gesek sebenarnya dan nilai kritisnya. Untuk penggunaan persamaan metode DuBoys ini berdasarkan dari parameter ukuran partikel rata-rata sedimen dan tegangan gesek kritis. Ukuran partikel ini berkisar 0,1 mm sampai 4 mm (Soemarto, 1999).

Laju angkutan sedimen dasar (*Bed Load*) dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$q_b = \Psi D \frac{\tau_0}{\rho_w} \left(\frac{\tau_0 \tau_c}{\rho_w} \right) \dots\dots\dots(28)$$

Nilai parameter dari fungsi ukuran partikel dapat dicari menggunakan persamaan:

$$\Psi D = \frac{\rho_s d_{50}^3}{2 \tau_c} \dots\dots\dots(29)$$

Nilai tegangan geser kritis dasar dapat dicari menggunakan persamaan:

$$\tau_0 = \rho_w DS \dots\dots\dots(30)$$

Nilai ψ dan τ_c dapat digunakan pada table 2.2 berdasarkan diameter butir rata-rata sedimen dasar.

Tabel 2.3 Hubungan Antara τ_c dan ψ (Soemarto, 1999)

Diameter Butir Rata-rata Sedimen (mm)	Parameter Partikel Ψ	Tegangan Geser τ_c (kg/m ²)
0,125	523000	0,0162
0,25	312000	0,0172
0,5	187000	0,0215
1	111000	0,0316
2	66200	0,0513
4	39900	0,089

Dimana:

Ψ = Nilai parameter dari fungsi ukuran partikel

q_b = Total sedimen dasar per meter lebar (m³/detik/m)

d = Diameter partikel D_{50} (mm)

b = Lebar dasar saluran (m)

τ_0 = Tegangan geser (kg/m²) = $\rho_w DS$

τ_c = Tegangan geser kritis di dasar (kg/m²)

ρ_w = Berat jenis air (kg/m^3)

ρ_s = Berat jenis sedimen (kg/m^3)

D = Kedalaman air (m)

S = Kemiringan saluran

Persyaratan untuk perhitungan angkutan sedimen menggunakan metode DuBoys adalah ukuran parameter rata-rata sedimen dan tegangan geser kritis. Ukuran partikel ini berkisar 0,1 mm sampai 4 mm (Soemarto, 1999).

Untuk persyaratan untuk metode ini adalah:

- Ukuran butiran sedimen D_{50}
- Ukuran butiran sedimen D_{90}

2.10 Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian yang dilakukan pembahasan tentang sedimen tentu berdasarkan hasil kajian-kajian dan penelitian terdahulu. Beberapa penelitian atau kajian yang membahas tentang sedimen diantaranya sebagai berikut:

- a. Penelitian Rendi Siswanto (2021) tentang studi karakteristik dan laju angkutan sedimen parit langgar desa wajok hilir kecamatan siantan kabupaten mempawah menunjukkan dimana gradasi partikel sedimen di parit langga memiliki klasifikasi.

Table 2.4 Klasifikasi Sedimen Dasar

Jenis Tanah	persentasi
Pasir	7,12 %
Lanau	81,58 %
Lempung	11,30 %

Sedangkan untuk laju sedimentasi yang menggunakan metode Meyer Peter Muller dan Einstein, dimana kondisi pasang dan surut air memiliki perbedaan yang sangat signifikan antara kondisi tertinggi dan terendahnya.

- b. Penelitian Aris Supianto (2019) tentang analisis laju angkutan sedimen melayang di parit bansir kota pontianak menunjukkan bahwa kondisi angkutan sedimen melayang terbesar pada kondisi pasang surut terjadi di hilir yang diakibatkan oleh kecepatan aliran air yang besar sedangkan kondisi terendah pada kondisi pasang dan surut berada ditengah hal ini disebabkan oleh volume air dan kecepatan aliran air yang kecil sedangkan di bagian hulu tidak terpengaruhi pasang surut dan kondisi laju angkutan sedimen layang terkecil dari dua titik yang diteliti.
- c. Penelitian Indra Pratama Putra (2019) tentang Analisis Angkutan Sedimen di Muara Parit Berkat menunjukkan bahwa perhitungan laju sedimen dengan menggunakan metode sesaat dan metode meyer peter muller mendapatkan angkutan sedimen melayang terbesar untuk lokasi muara adalah 0.11929 Kg/det dan angkutan sedimen dasar terbesar adalah 1.8568 Kg/m.det dimana kondisi pasang surut berpengaruh terhadap laju angkuta sedimen.
- d. Penelitian Rendi (2021) tentang Analisis Angkutan Sedimen Melayang di Sungai Raya Dalam menunjukkan bahwa hasil uji laboratorium untuk sedimen yang ada yaitu 0,1-0,85 mm yang merupakan jenis pasir menurut klasifikasi Asdak 2010. Besar muatan sedimen melayang berdasarkan tiga metode rumus empiris (metode yang's shen and hung dan Einstein) dilakukan di setiap titik pukul 14.00 01-Februari-2020 dengan hasil di titik hulu hasil perhitungan terbesar menggunakan metode yang's sebesar 0,00052851 kg/detik, di titik tengah hasil terbesar menggunakan metode yang's sebesar 0.00623450 kg/detik dan di hilir hasil hitungan terbesar menggunakan metode yang's sebesar 0,01097454 kg/detik
- e. Penelitian Fikry Putra Ramadhani (2021) tentang analisis sedimen Sungai Menyuke Kabupaten Landak yang menggunakan analisis menggunakan metode Meyer-Peter-Muller, L.C Van Rijn, dan Einstein dengan hasil

penelitian berupa karakteristik sedimen berjenis pasir dengan diameter rata-rata sebesar 0,330 mm dan berat jenis berkisar antara 2,645 ton/m³-2,721 ton/m³. hasil penelitian ini didapat laju angkutan sedimen total, metode yang cocok digunakan pada penelitian ini adalah metode L.C Van Rijn, dengan total angkutan sedimen minimum terletak pada segmen 1 sebesar 2,936 ton/hari dan maksimum terletak pada segmen 5 sebesar 6,585 ton/hari.

Dalam penelitian yang dilakukan di Sungai Silat Kecamatan Silat Hilir ini terdapat perbedaan penelitian dimana pengambilan data dilapangan tidak terpengaruh kondisi pasang surut sungai, pengambilan data penampang dan kemiringan lereng menggunakan aplikasi *ARCGIS*. Metode yang digunakan untuk pengambilan data adalah menggunakan metode sesaat dan untuk perhitungan laju sedimen menggunakan metode sesaat, L.C.V rijn, Meyer Peter Muller, Einstein dan metode Duboys.