

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Dasar Teori**

##### **2.1.1 Sungai**

Sungai merupakan aliran air tawar yang mengalir dari hulu sampai ke hilir dan akan bermuara di laut atau sungai yang lebih besar, aliran sungai bersumber dari limpasan anak-anak sungai, gletser, dan limpasan dari air tanah.

Berdasarkan asal airnya sungai dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis yaitu:

1. Sungai mata air, adalah sungai yang bersumber dari mata air dan umumnya terdapat pada daerah yang memiliki curah hujan sepanjang tahun. Untuk daerah alirannya tertutup vegetasi yang cukup lebat.
2. Sungai hujan, adalah sungai yang airnya bersumber dari air hujan, dan ketika tidak hujan maka sungai tersebut akan mengering. Sungai tersebut berada di vegetasi yang jarang, di daerah lereng, atau perbukitan.
3. Sungai gletser, adalah sungai yang airnya bersumber dari salju atau mencairnya es, sungai ini terdapat di dataran tinggi yaitu puncak gunung.
4. Sungai campuran, adalah sungai yang airnya berasal dari berbagai sumber seperti mata air, hujan serta pencairan salju ataupun es, air sungai tersebut bercampur menjadi satu dan mengalir hingga ke lautan.

##### **2.1.2 Morfologi sungai**

Bentuk daerah aliran sungai, luas, serta kemiringan sungai dapat mempengaruhi sifat-sifat dari sungai, faktor-faktor yang dapat mengakibatkan pembentukan sedimentasi dan angkutan sedimen antara lain bentuk tebing, dasar muara, dan pesisir di depan muara.

### 2.1.3 Daerah aliran sungai (DAS)

Daerah aliran sungai (DAS) adalah suatu daerah yang dibatasi oleh pegunungan, jika terjadi hujan maka air hujan tersebut akan ditampung oleh pegunungan dan akan dialirkan melalui sungai kecil menuju sungai utama.

### 2.1.4 Muara sungai

Muara merupakan bagian hilir sungai yang terhubung dengan laut, permasalahan yang sering terjadi di muara biasanya dapat di lihat di bagian mulut sungai dan estuari. Muara adalah bagian paling hilir dari muara yang langsung berhubungan dengan laut, sedangkan muara adalah bagian sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut. Muara berfungsi sebagai tempat luapan/aliran aliran sungai, terutama pada saat terjadi banjir, ke arah laut, selain itu muara juga harus mengatasi arus pasang surut yang bisa lebih besar dari aliran sungai, sehingga muara sungai harus cukup lebar dan dalam (T.Anasiru,2006)[2]. Muara sungai dapat dibedakan dalam tiga kelompok, yang tergantung pada faktor dominan yang mempengaruhinya. Ketiga faktor dominan tersebut adalah gelombang, debit sungai, dan pasang surut (Nur Yuwono, 1994).

#### a. Muara yang didominasi gelombang laut

Pada pantai yang berpasir gelombang besar dapat menyebabkan angkutan sedimen, angkutan sedimen tersebut akan menuju ke muara sungai karena di muara sungai cenderung tenang dan sedimen tersebut akan mengendap di muara.

#### b. Muara yang didominasi debit sungai

Pada saat air surut sedimen akan terlepas ke muara dan menyebar ke laut, jika kecepatan aliran kecil maka sebagian suspensi mengendap ketika air pasang maka kecepatan aliran akan bertambah besar dan sebagian suspensi dari laut akan menuju ke muara dan bertemu dengan sedimen yang berasal dari hulu. Dalam satu siklus pasang surut sedimen yang tererosi lebih sedikit dari pada jumlah sedimen yang mengendap sehingga menyebabkan pengendapan di depan mulut sungai.

c. Muara yang didominasi pasang surut

Ketika ketinggian pasang surut besar maka volume air yang masuk ke sungai juga besar, air tersebut akan terkumpul dengan air dari hulu sungai. Pada keadaan air surut volume air yang sangat besar akan mengalir keluar pada waktu tertentu kejadian tersebut terjadi berkaitan dengan tipe pasang surut, hal tersebut menyebabkan kecepatan arus cukup besar pada saat air surut.

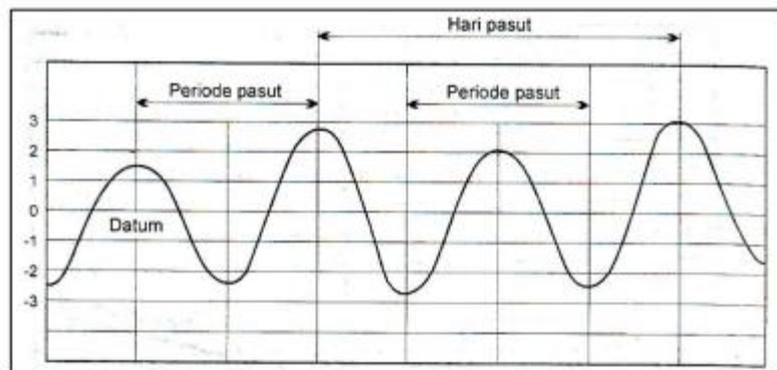
## 2.2 Pasang Surut

Pasang surut adalah naik turunnya muka air laut akibat gaya tarik benda-benda di langit, khususnya matahari dan bulan oleh massa air laut di bumi. Meskipun massa bulan jauh lebih kecil daripada massa matahari, tetapi karena lebih dekat dengan bumi, pengaruh gaya tarik bulan ke bumi lebih besar dari pada pengaruh gaya Tarik matahari. Dalam pasang surut ada istilah yang berbeda dalam naik turunnya pasang surut sebagai berikut:

1. Muka air tinggi (*high water level*), muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang dalam satu siklus pasang surut.
2. Muka air rendah (*low water level*), kedudukan air terendah yang yang dicapai pada saat air surut dalam satu siklus pasang surut.
3. Muka air tinggi rerata (*mean high water level*), adalah rerata dari muka air rendah selama periode 19 tahun.
4. Muka air rendah rerata (*mean low water level*), adalah rerata dari muka air rendah selama periode 19 tahun.
5. Muka air laut rerata (*mean sea level*), adalah muka air rerata antara muka air tinggi rerata dan muka air rendah rerata. Elevasi digunakan sebagai referensi untuk elevasi di daratan.
6. Muka air tinggi tertinggi (*highest high water level*), adalah air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
7. Air rendah terendah (*lowest low water level*), adalah terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.

### 2.2.1 Kurva pasang surut

Ketinggian pasang surut adalah jarak vertikal antara air tertinggi (puncak pasang) dan air terendah (lebah air). Periode pasang dapat 12 jam 25 menit atau 24 jam 50 menit, tergantung pada jenis pasang surut. Arus pasang surut, yang membawa air massa air yang sangat besar. Arus pasang surut terjadi pada saat pasang dan susurut terjadi pada saat surut. Perlambatan adalah ketika arus berbalik antara pasang dan surut. Titik kritis ini dapat terjadi pada ketinggian air tertinggi dan terendah.



**Gambar 2. 1** Kurva pasang surut

*Sumber: Buku Teknik Pantai 1999, Hal 116*

### 2.2.2 Tipe pasang surut

Menurut (*Bambang Triatmodjo, Teknik Pantai 1999, hal 119*)[11] ,pasang surut di berbagai daerah di Indonesia dapat dibagi menjadi 4 jenis yaitu:

1. Pasang surut harian ganda (*Semi Diurnal Tide*) terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan tinggi yang hampir sama dalam satu hari, dan pasang surut terjadi secara berurutan secara teratur. Rata-rata periode pasang surut yaitu 12 jam 24 menit.
2. Pasang surut harian tunggal (*Diurnal Tide*) terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut dalam satu hari. Periode pasang surut yaitu 24 jam 50 menit.

3. Pasang surut campuran condong ke harian ganda (*Mix Tide Prevealling Semidiurnal*) terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dalam sehari tetapi tinggi dan periodenya berbeda.
4. Pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*Mix Tide Prevealling Diurnal*) dalam satu hari akan terjadi satu kali pasang dan satu kali surut tetapi kadang-kadang untuk sementara akan terjadi dua kalipasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda.

Jenis lainnya yaitu pasang surut purnama dan perbani, proses terjadi karena adanya gaya tarik bulan dan matahari yang semula berbentuk pola berubah menjadi *ellips*. Karena peredaran bumi dan bulan dalam orbitnya, posisi bumi, bulan, dan matahari selalu berubah setiap saat. Revolusi bulan ke bumi di tempuh dalam kurun waktu 29 sampai 30 hari masing-masing sekitar tanggal 1 dan 15 (bulan purnama) posisi bumi, bulan, dan matahari kira-kira berada pada satu garis lurus. Sehingga gaya Tarik bulan dan matahari di bumi saling menguatkan.

Dalam keadaan ini terjadi pasang surut purnama (*Spring Tide*). di sekitar tanggal 7 dan 21 revolusi bulan terhadap bumi di mana bulan dan matahari membentuk membentuk sudut siku-siku terhadap bumi, gaya tarik bulan terhadap bumi berkurang satu sama lain. Dalam keadaan ini terjadi pasang surut perbani (*Neap Tide*).

Pengaruh pasang surut air laut terhadap dinamika pantai tidak terlalu besar tetapi tidak dapat diabaikan begitu saja, karena pasang surut merupakan pergerakan yang berirama naik turunnya permukaan laut. Sehingga saat terjadi pasang akan menimbulkan arus yang terjadi di laut lepas. Namun arus pasang surut ini juga dapat menjadi sarana pengangkutan sedimen-sedimen kecil seperti pasir halus dan lempung yang dapat ditemukan di muara sungai.

### **2.2.3 Konstanta formzahl**

Pada umumnya jenis pasang surut di perairan, ditentukan dengan menggunakan konstanta *formzahl* yang dirumuskan sebagai berikut:

$$F = \frac{(K_1+O_1)}{(M_2+S_2)} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

$K_1$  = Unsur pasang surut tunggal yang disebabkan oleh gaya tarik matahari

$O_1$  = Unsur pasang surut utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan

$M_2$  = Unsur pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan

$S_1$  = Unsur pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari

Dengan nilai *formzahl* yang telah diketahui maka dapat ditentukan jenis pasang surut berdasarkan klasifikasi berikut ini:

1. Pasang surut harian ganda jika,  $F = 0-0.25$
2. Pasang surut campuran condong ke harian ganda jika,  $F = 0.25-1.5$
3. Pasang surut campuran condong ke harian tunggal jika,  $F = 1.5-3.0$
4. Pasang surut harian tunggal jika,  $F = >3.0$

Untuk mendapatkan nilai-nilai komponen harmonic pasang surut, dapat menggunakan metode *admiralty*. Metode *admiralty* digunakan untuk mengekstrak nilai-nilai pasang surut dari data pasang surut dengan periode 15 maupun 29 hari (Djaja,1989).

### 2.3 Arus

Menurut Gross (1990), Arus laut adalah pergerakan massa air laut secara terus menerus dari satu tempat ke tempat lain, baik secara vertikal maupun horizontal. Gerak terjadi sebagai akibat dari berbagai gaya yang bekerja pada permukaan, kolom, dan dasar air. Tekanan angin yang bekerja di permukaan laut akan mendorong air ke permukaan membentuk arus permukaan. Pola aliran permukaan mengikuti pola angin permukaan. Selain itu,

arus permukaan juga terbentuk akibat pengaruh tarikan gravitasi bumi dan matahari yang disebut arus pasang surut (Mawardi,2016).[3]

## 2.4 Hujan

Menurut Bambang Triatmodjo (2008)[12], presipitasi adalah turunnya air dari atmosfer ke permukaan bumi bisa berupa hujan, hujan salju, embun, kabut, dan hujan es. Air yang mengalir di sungai bersumber dari hujan, intensitas, jumlah dan distribusi hujan dapat mempengaruhi jumlah dan variasi debit sungai. Ada korelasi antara debit sungai serta curah hujan yang jatuh pada DAS yang bersangkutan.

### 2.4.1 Curah hujan

Curah hujan adalah jumlah air yang jatuh di permukaan tanah dasar selama periode tertentu yang diukur dengan satuan tinggi (mm) di atas permukaan horizontal bila tidak terjadi evaporasi, *runoff*, infiltrasi (Handoko 1994). Maka perhitungan curah hujan rencana sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + S + K \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

$X_T$  = hujan rencana atau debit dengan periode ulang T

$\bar{X}$  = nilai rata-rata curah hujan dari  $X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$

S = standar deviasi dari data hujan

K = koefisien korelasi (pada metode Gumbel)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

$X_i$  = Curah hujan maksimum

n = Lama pengamatan

$$\log X_T = \overline{\log X} + K_T \times S \log X \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

$\log X_T$  = Hujan rencana atau debit dengan periode ulang T

$\overline{\log X}$  = Nilai rata-rata curah hujan dari  $\log X_i$

$$\overline{\log X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log x_i}{n} \dots \dots \dots (2.5)$$

S log X = Standar deviasi dari log X

$$S \log X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log x_i - \overline{\log X})^2}{n-1}} \dots \dots \dots (2.6)$$

$K_T$  = Variasi standar, besarnya tergantung  $C_s$  atau G (pada metode Log person III)

Analisis frekuensi curah hujan di tentukan ditentukan untuk setiap jenis distribusi. Perhitungan curah hujan mengikuti pola dan kondisi yang ditentukan untuk masing-masing. Distribusi berdasarkan nilai C dan Ck. Distribusi termasuk perhitungan curah hujan terencana dilakukan menurut distribusi Gumbel, Log normal dan Normal. Jika nilai  $C_s$  dan Ck dari ketiga distribusi tidak memenuhi persyaratan perhitungan curah hujan menggunakan perhitungan distribusi curah hujan, pengecualian tiga metode, yaitu distribusi Logaritma pearson III.

**Tabel 2.1** Syarat Parameter Distribusi

Jenis Sebaran	Persyaratan
Normal	$C_s \approx 0$
	$C_k \approx 3$
Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$
	$C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
Gumbel	$C_s \approx 1,14$
	$C_k \approx 5,4$
Log Pearson Type III	Selain dari nilai di atas

Sumber: Bambang, T (2008)

Berdasarkan keterangan tabel 2.1 diperoleh:

a. Koefisien kemencengan/swekness (Cs)

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^i (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)(Sn)^3} \dots\dots\dots(2.7)$$

b. Koefisien kurtosis (Ck)

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^i (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)(Sn)^4} \dots\dots\dots(2.8)$$

c. Koefisien variasi (Cv)

$$C_v = \frac{Sn}{\bar{X}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Untuk mengetahui intensitas curah hujan dilakukan penentuan perhitungan curah hujan sehingga dapat memprediksi debit yang akan masuk ke suatu aliran sehingga dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

a. Intensitas hujan

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left[ \frac{24}{t} \right]^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(2.10)$$

b. Debit curah hujan

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

Q = Debit puncak limpasan (m<sup>3</sup>/det)

C = Angka pengaliran

I = Intensitas curah hujan periode ulang T (mm/jam)

A = Luas daerah pengaliran (Km<sup>2</sup>)

c. Kecepatan

$$v = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana:

v = Kecepatan aliran (m/det)

Q = Debit (m<sup>3</sup>/det)

A = Luas area aliran (m<sup>2</sup>)

### 2.5 Kecepatan Aliran Sungai

Penentuan kecepatan diberbagai titik pada penampang ini akan membantu menentukan besarnya kapasitas aliran. oleh karena itu, mengukur kecepatan aliran adalah langkah yang sangat penting dalam analisis aliran air.

Kecepatan dapat diperoleh dengan mengukur waktu tempuh suatu partikel dalam mencapai jarak tertentu, besarnya kecepatan aliran dapat mempengaruhi besarnya fluida yang mengalir dalam suatu aliran.

Kapasitas debit aliran(Q) untuk fluida dapat dihitung dengan:

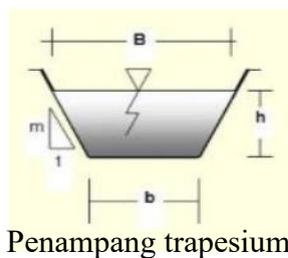
$$Q = A \times v \dots\dots\dots(2.13)$$

$Q$  = Debit air (m<sup>3</sup>/s)

$A$  = Luas penampang aliran (m<sup>2</sup>)

$v$  = Kecepatan aliran (m/s)

dengan demikian jumlah aliran air ditentukan, untuk dapat menghitung luas aliran A pertama-tama perlu menghitung kecepatan v. Rumus kecepatan diperoleh secara Matematis-empiris yaitu berdasarkan eksperimen.



Penampang trapesium

	Rumus	Satuan
Lebar dasar	$b$	(m)
Lebar puncak	$B = b + 2mh$	(m)
Kedalaman air	$h$	(m)
Luas penampang basah	$A = bh + mh^2$	(m <sup>2</sup> )
Keliling basah penampang	$P = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$	(m)
Jari-jari hidraulik penampang	$R = \frac{A}{P}$	(m)
Kedalaman hidraulik	$D = \frac{A}{B}$	(m)

Gambar 2.2 Geometri saluran terbuka

- Rumus Manning

Rumus Manning juga banyak digunakan untuk aliran saluran terbuka, serta berlaku untuk pengaliran di pipa. Rumus tersebut sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana n adalah Koefisien Manning dan R adalah Jari-Jari Hidraulik, yaitu perbandingan antara luas tampang aliran A dan keliling basah P.

## 2.6 Sedimentasi

Sedimentasi yaitu proses pengendapan dari suatu material yang berasal dari angin, erosi air, gelombang laut, serta gletser. Material yang dihasilkan dari erosi yang dibawa oleh aliran air dapat diendapkan di tempat yang ketinggiannya lebih rendah (dijon yudis)[4].

Hubungan sedimentasi dengan sungai meliputi penyempitan palung, erosi, transport sedimen, pengendapan, dan pematatan dari sedimen itu sendiri. Perubahan kecepatan aliran dapat disebabkan oleh dua hal yaitu pergantian musim penghujan dan kemarau serta aktivitas manusia. Kedua hal tersebut dapat mempengaruhi besarnya volume sedimen.

### 2.6.1 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Angkutan Sedimentasi

Sedimen yang terangkut oleh air dipengaruhi oleh :

1. Ukuran Partikel Sedimen

Ukuran partikel adalah karakteristik sedimen dimana dapat diukur secara signifikan. Penyusun sedimen terdiri dari material butiran-butiran dengan ukuran yang berbeda-beda. Menurut besarnya ukuran sedimen dapat digolongkan seperti tabel di bawah ini:

**Tabel 2.2** Klasifikasi Ukuran Butir Menurut Skala *Wentworth*

Klasifikasi	Ukuran Butir (mm)
Bongkah ( <i>boulder</i> )	> 256
Kerikil ( <i>Gravel</i> )	2 – 256
Pasir Sangat Kasar ( <i>very coarse sand</i> )	1 – 2
Pasir Kasar ( <i>coarse sand</i> )	0,5 – 1
Pasir Medium ( <i>medium sand</i> )	0,25 - 0,5
Pasir Halus ( <i>fine sand</i> )	0,125 - 0,50
Pasir Sangat Halus ( <i>very fine sand</i> )	0,0625 - 0,125
Lanau ( <i>silt</i> )	0,002 - 0,062
Lempung ( <i>clay</i> )	0,0005 - 0,002
Material Terlarut ( <i>very fine sand</i> )	< 0,0005

Sumber : Hutabarat dan Evans, 2000

*Ackers-White* dan *Yalin* mendefinisikan parameter butir adalah :

- a. Diameter Partikel :

$$D^* = D_{50} \left[ \frac{(S-1)}{v^2} \right]^{1/3} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :  $D_{50}$  = Diameter median dari material dasar  
 $S$  = Kerapatan jenis  
 $v$  = Koefisien kekentalan *kinematic*

- b. *Transport Stage* Parameter

$$U = \frac{(U^*)^2 - (u^* \cdot U_r)^2}{(U^* \cdot U_r)^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :  $U^*$  =  $(U^{0,5}/C) \cdot U$   
 $C$  = Koefisien *Chezy*  
 $U$  = Kecepatan rata-rata

## 2. Bentuk Partikel

Bentuk partikel juga mempengaruhi perhitungan *transport* sedimen, yaitu pada laju *transport* butir *NC Nown da Malaika* dan *Alberton* mempelajari bentuk partikel dan menemukan definisi yang dapat digunakan secara praktis dan mendapatkan hasil yang baik. Faktor bentuk dinyatakan sebagai berikut :

$$SF = \frac{c}{(a.b)^{0,5}} \dots\dots\dots(2.6)$$

- Dimana : SF = Faktor bentuk dari *corey* (tak berdimensi)  
 a = Penampang terpanjang dari partikel (mm)  
 b = Penampang dari partikel (mm)  
 c = Penampang terpendek dari partikel (mm)

3. Berat Spesifik Partikel Sedimen

Definisi berat spesifik ialah berat persatuan volume dari bahan angkutan sedimen.

$$\gamma = \frac{\text{berat sedimen}}{\text{volume sedimen}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Untuk menghitung kecepatan angkut partikel diasumsikan bahwa:

- a. Partikel adalah *special* (bulat)
- b. Gaya percepatan fluida orde dua

Distribusi kecepatan vertical digunakan rumus :

$$u(z) = \frac{u^*}{k} \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \dots\dots\dots(2.8)$$

- Dimana :  $u^*$  = kecepatan geser dasar  
 $z$  = 0,05 h  
 $k$  = konstanta *Von Karman* = (0,4)  
 $z_0$  = 0,11 ( $v/u^* + 0,03 k_s$ )  
 $k_s$  = kekasaran *nikuradse*

rumus angkutan sedimen terhadap angkutan *bed load* maupun *suspended load* yang diturunkan dari beberapa jenis model fisik untuk memprediksi hubungan antara parameter yang mempengaruhi angkutan sedimen.

**2.6.2 Analisa Angkutan Sedimen**

1. Analisa Angkutan Sedimen Melayang Metode Sesaat

Debit muatan sedimen melayang pada periode waktu tertentu dapat didefinisikan sebagai hasil perkalian konsentrasi dan debitnya yang dapat dirumuskan sebagai berikut (Soewarno, 1991):

$$Q_s = k \times C \times Q_i \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

$Q_s$  = debit sedimen melayang

$k$  = faktor konversi

$C$  = konsentrasi sedimen layang

$Q_i$  = debit air

Umumnya untuk perhitungan debit sedimen melayang persamaan ditulis sebagai berikut:

$$Q_s = 0.0864 \times C \times Q_w \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:

$Q_s$  = debit sedimen melayang rata-rata harian (ton/hari)

$C$  = konsentrasi sedimen rata-rata harian (mg/l)

$Q_w$  = debit rata-rata ( $m^3/det$ )

## 2. Analisa Angkutan Sedimen Dasar Menggunakan Metode Meyer-Petter dan Muller

Persamaan Meyer-Petter dan Muller dapat digunakan untuk menghitung angkutan sedimen dasar, Langkah-langkah menghitung angkutan sedimen dasar menggunakan persamaan Meyer-Petter dan Muller adalah sebagai berikut:

Menentukan *friction factor angkutan* ( $C$ ):

$$C = \frac{v}{\sqrt{h \times I}} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana:

$C$  = *friction factor* angkutan ( $m^{1/2}/s$ )

$v$  = kecepatan aliran rata-rata (m/s)

$h$  = kedalaman rata-rata (m)

$I$  = kemiringan/*slope*

Menentukan koefisien *Chezy* berhubungan dengan butir ( $C'$ ):

$$C' = 18 \text{ Log } \left[ \frac{12 h}{D_{90}} \right] \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

$C'$  = koefisien *chezy* yang berhubungan dengan butir ( $m^{1/2}/s$ )

$h$  = kedalaman rata-rata (m)

$D_{90}$  = diameter butiran pada  $D_{90}$  (m)

Menentukan *Ripple Factor* ( $\mu$ ):

$$\mu = \left[ \frac{c}{c'} \right]^{1.5} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana:

$\mu$  = *Ripple factor*

$C$  = *Friction factor* angkutan (ml/2/s)

$C'$  = Koefisien *chezy* berhubungan dengan butir (ml/2/s)

Menentukan intensitas pengaliran ( $\Psi'$ )

$$\Psi' = \frac{\mu \times h \times I}{\Delta \times D_m} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dengan:

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho_w} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana:

$\Psi'$  = Intensitas pengaliran

$\mu$  = *Ripple Factor*

$h$  = Kedalaman rata-rata (m)

$I$  = Kemiringan atau Slope

$\Delta$  = Intensitas kerapatan

$\rho_w$  = Rapat massa air (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_s$  = Rapat massa sedimen (kg/m<sup>3</sup>)

$$S_b = \frac{\sqrt[8]{\Delta g D_{50}^2}}{1 - \varepsilon} (\Psi' - 0,047)^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana:

$$\varepsilon = \text{Void ratio} = 0.4$$

$D_{50}$  = Diameter butiran pada D50 (m)

T menghitung *transport* sedimen perhari:

$$T = \frac{sbA}{h} \times (24 \times 3600 \text{ m}^3/\text{hari}) \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana:

T = *Transport* sedimen (m<sup>3</sup>/hari)

24 x 3600 = Waktu dalam detik untuk satu kali pengaliran

### 3. Analisa Angkutan Sedimen Dengan Metode *L.C Van Rijn*

Menurut *L.C Van Rijn* (1984) *transport* sedimen dapat dianalisis dengan cukup akurat dengan dua parameter tak berdimensi. Muatan sedimen layang bergerak mengikuti arus sungai, terdiri dari pasir halus yang terbawa oleh air dan memiliki sedikit interaksi dengan dasar sungai karena telah terdorong ke atas oleh turbulensi aliran. Selain itu pada sedimen layang juga terdapat terdapat sedimen bilas yang berukuran sangat kecil (<50 mikro meter). Bagian ini akan menjelaskan perhitungan sedimen berdasarkan studi yang dilakukan oleh *L.C Van Rijn* [13].

#### 1. Parameter Partikel

$$D^* = D_{50} \left[ \frac{(s-1)g}{\nu^2} \right]^{1/3} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana:

$D^*$  = Parameter partikel

$D_{50}$  = Diameter partikel (m)

s = Kerapatan jenis

$\nu$  = Viskositas kinematik (m<sup>2</sup>/detik)

g = Gravitasi (m/detik<sup>2</sup>)

#### 2. *Transport Stage* Parameter (T)

$$T = \frac{[V_{r*}]^2 - [V_{*cr}]}{[V_{*cr}]} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana:

$$V^{*'} = \frac{\sqrt{g}}{C} \cdot \bar{V}$$

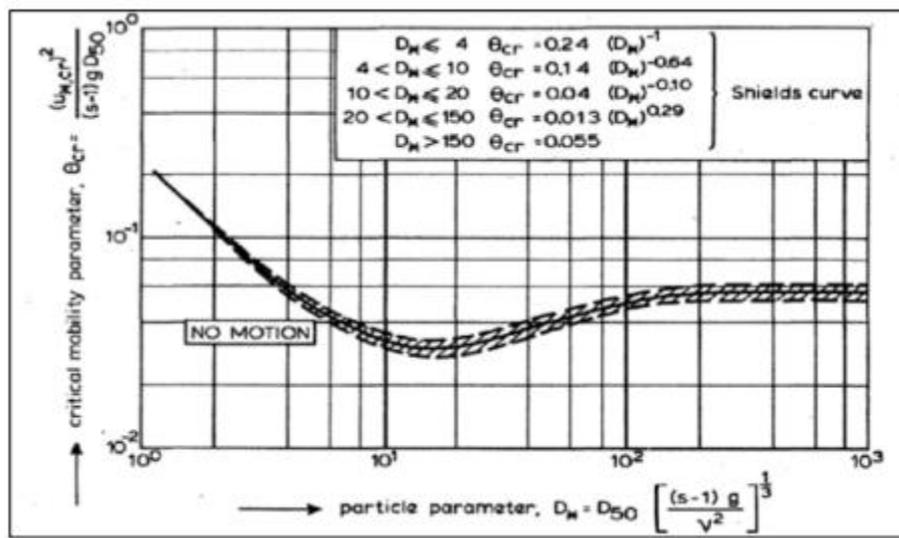
T = Transport stage parameter (m)

V\*’ = Kecepatan geser dihubungkan dengan ukuran butiran (m/detik)

V<sub>\*cr</sub> = Kecepatan geser pada dasar sungai menurut Shields (m/detik)

$\bar{V}$  = Kecepatan aliran rata-rata (m/detik)

Kecepatan geser pada dasar sungai menurut *Shields* dapat dihitung dengan diagram *Shields*.



**Gambar 2.3** Grafik *Shields Curve* (Van Rijn 1984)

Sumber: Van Rijn (1984)

Untuk C’ dapat dihitung dengan persamaan:

$$C' = 18 \log \left[ \frac{12Rb}{3D_{90}} \right] \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana:

Rb = Jari-jari hidrolis (m)

D<sub>50</sub> = Diameter partikel (m)

Total sedimen dasar (*bed load*) parameter lebar dapat dihitung dengan persamaan rumus:

$$Q_b = 0,053 \cdot (\Delta g)^{0.5} \cdot D_{50}^{1.5} \cdot D^{*-0.3} \cdot T^{1.2} \dots\dots\dots(2.21)$$

3. Angkutan sedimen layang (*Suspended Load*) besar acuan (a) dimana konsentrasi acuan sedimen dasar digunakan sebagai acuan. Besar acuan (a) dinyatakan sebagai  $a = 0,5$  atau  $a = ks$  (0,01d) konsentrasi acuan ( $ca$ ), dengan rumus:

$$C_a = 0.015 \frac{D_{50} T^{1.5}}{a D^{0.3}} \dots \dots \dots (2.22)$$

Ukuran partikel sedimen layang ( $D_s$ ), yang dinyatakan sebagai:

$$\frac{D_s}{D_{50}} = 1 + 0.11(\sigma_s - 1)(T - 25) \dots \dots \dots (2.23)$$

$$\text{Dimana: } \sigma_s = \frac{1}{2} \left[ \frac{D_{84}}{D_{50}} + \frac{D_{16}}{D_{50}} \right] \dots \dots \dots (2.24)$$

Kecepatan jatuh ( $W_s$ ) sedimen layang:

Ukuran partikel <100 mm:

$$W_s = \frac{1}{8} \frac{1(s-1)gD_s^2}{\nu} \dots \dots \dots (2.25)$$

Untuk partikel berukuran 100-1000 mm:

$$W_s = 10 \frac{\nu}{D_s} \left\{ \left[ 1 + \frac{0.01(s-1)gD_s^2}{\nu^2} \right] - 1 \right\} \dots \dots \dots (2.26)$$

Untuk partikel berukuran >1000 mm:

$$W_s = 1,1 \times [(s - 1)g]D_s^{0.5} \dots \dots \dots (2.27)$$

$\beta$ -faktor:

$$\beta = 1 + 2 \left[ \frac{W_s}{U^*} \right]^2 \dots \dots \dots (2.28)$$

$\varphi$ -faktor:

$$\varphi = 2.5 \left[ \frac{W_s}{U_o} \right]^{0.8} \left[ \frac{ca}{co} \right]^{0.4} \dots \dots \dots (2.29)$$

Parameter suspense  $z$  dan  $z'$

$$z = \frac{W_s}{\beta \cdot U^*} \dots \dots \dots (2.30)$$

$$z' = z + \varphi \dots \dots \dots (2.31)$$

F-faktor:

$$F = \frac{\left[\frac{a}{d}\right]^{Z'} - \left[\frac{a}{d}\right]^{1.2}}{\left[1 - \frac{a}{d}\right]^{Z'} - (1.2 - Z')} \dots\dots\dots(2.32)$$

Total sedimen layang (*Suspended Load*) permeter lebar dapat dihitung dengan persamaan rumus:

$$Q_s = F \cdot V \cdot d \cdot C_a \dots\dots\dots(2.33)$$

Dimana:

F = Faktor korelasi

V = Kecepatan aliran rata-rata (m<sup>2</sup>/detik)

d = Kedalaman aliran (m)

C<sub>a</sub> = Konsentrasi acuan

Untuk muatan sedimen dasar (*Bed Load*) adalah pengangkutan partikel sedimen yang disebabkan oleh kecepatan aliran yang relative rendah, sehingga partikel-partikel itu awalnya berhenti di tempat, menggelinding, dan meluncur di sepanjang lintasan di bawahnya. *Bed Load Transport* (Q<sub>b</sub>) adalah hasil kali kecepatan partikel (V<sub>b</sub>), dengan tinggi loncatan (δ<sub>b</sub>) dan konsentrasi dari *Bed Load* (C<sub>b</sub>) dalam perhitungannya digunakan rumus:

$$Q_b = C_b \times V_b \times \delta_b \dots\dots\dots(2.34)$$

$$C_b = C_o \times 0.18 \frac{T}{D^*} \dots\dots\dots(2.35)$$

Dimana:

D\* :  $D_{50} \times \left(\frac{\Delta g}{U^2}\right)$  = Parameter partikel

T :  $\frac{(u_*1)^2 - (u_* > cr)^2}{(u_* cr)^2}$  = *Transport stage* parameter

V\*' :  $\left(\frac{g^{0.5}}{c'}\right) u$  = Kecepatan geser dasar efektif dihubungkan dengan butir (m/s)

$\Delta$	: $\frac{(\rho_s - \rho)}{\rho}$	= Berat relative
$C'$	: $18 \log \left( \frac{12h}{3d_{90}} \right)$ ( $m^{0.5}/s$ )	= Koefisien chezy berhubungan dengan butir
$V$		= Kecepatan aliran pada kedalaman rata-rata
$D_{50}, D_{90}$		= Diameter partikel dari material dasar (m)
$\nu$		= Koefisien viscositas kinematic ( $m^2/s$ )
$g$		= Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

untuk *Bed Load Transport* pada satu satuan lebar ( $m^3/s$ ), digunakan rumus:

$$Q_b = 0.053(\Delta g)^{0.5} D_{50}^{1.5} D_*^{-0.3} T^{2.1} \dots \dots \dots (2.36)$$

### 2.6.3 Gerakan Sedimen

Gerakan sedimen terbagi menjadi dua macam, yaitu Gerakan fluvial (*fluvial movement*) dan Gerakan massa (*mass movement*).

#### 1. Gerakan fluvial

Di permukaan dasar sungai terdapat butiran butiran kerikil yang dapat bergerak karena diakibatkan oleh gerakan fluvial. Kekuatan aliran air sungai dapat menyebabkan gaya geser serta gaya angkat.

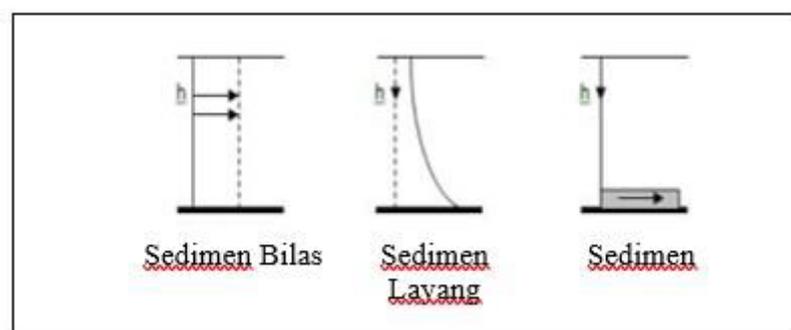
#### 2. Gerakan Massa

Pergerakan air bercampur massa sedimen dengan konsentrasi sangat tinggi, di sungai arus deras, di daerah lereng-lereng pegunungan dapat disebut dengan gerakan massa sedimen. Gerakan sedimen tersebut merupakan sedimen luruh yang umumnya bisa terjadi pada alur sungai dengan arus kuat dengan kemiringan lebih dari  $15^\circ$ .

#### 2.6.4 Angkutan Sedimen (*Sediment Transport*)

Di dalam suatu aliran sungai terdapat tiga angkutan sedimen yaitu:

1. Muatan sedimen dasar (*bed load*) merupakan angkutan sedimen yang terdapat di sepanjang dasar sungai dan memiliki partikel yang kasar. Material tersebut dapat bergerak seperti bergeser, menggelinding, atau meloncat-loncat, dan tidak akan lepas dari dasar sungai.
2. Muatan sedimen layang (*suspended load*) memiliki partikel yang berukuran lebih kecil dari 0,1 mm, sedimen layang bergerak mengikuti pusaran aliran yang terus melayang Bersama aliran. Sedimen layang terdiri dari pasir halus, dan jarang berhubungan dengan dasar sungai karena disebabkan oleh turbulensi aliran yang menyebabkan sedimen layang di dorong ke atas.
3. Muatan bilas (*wash load*) merupakan sedimen yang berasal dari pelapukan lapisan permukaan tanah pada musim kering yang kemudian akan lepas menjadi debu-debu halus. Angin atau hujan pertama yang turun pada musim hujan dapat menyebabkan debu-debu halus tersebut masuk ke sungai. Sedimen akan lebih banyak pada saat awal musim hujan dibandingkan dengan musim lainnya. Dari seluruh angkutan sedimen ukuran butir muatan bilas termasuk yang paling kecil.



**Gambar 2.4** Klasifikasi Angkutan Sedimen

*Sumber : Soewarno (1991)*

## 2.7 Penelitian sebelumnya

Sebelum penulis melakukan penulisan tentang “Analisis Angkutan Sedimen Oleh Sungai Mempawah Terhadap Alur Pelayaran Kapal Di Sungai Mempawah” penulis melakukan kajian dari beberapa jurnal.

Penelitian Jeri Solom<sup>1</sup>, Arie Antasari Kushadiwijayanto, Yusuf Arief Nurrahman (2020) dengan judul “Karakteristik Pasang Surut di Perairan Kuala Mempawah Kalimantan Barat”[1] didapatkan hasil karakteristik pasang surut di Perairan Kuala Mempawah Kalimantan Barat di ketahui dari nilai konstanta harmonik pasang surut air laut berdasarkan bilangan fromzahl, didapatkan hasil analisa jenis pasang surut pada perairan muara Mempawah adalah pasang surut campuran dominan pada harian tunggal. Tipe pasang surut berdasarkan tunggang pasut saat pasang purnama pada muara sungai Mempawah dapat dikategorikan meso tidal (kisaran 100 cm- 200 cm) pada ketiga stasiun pengamatan.

Penelitian Wisnu A.Gemilang dkk (2018) dengan judul “Karakteristik Sebaran Sedimen Pantai Utara Jawa Studi Kasus: Kecamatan Brebes Jawa Tengah”[5] hasil dari analisis *granulometri* terhadap sampel sedimen dasar perairan di Kecamatan Brebes didapatkan empat jenis sedimen menurut ukuran butirnya yaitu pasir, pasir lanauan, lanau pasiran, dan lanau. Fraksi halus berupa lanau hingga lanau pasiran terdapat di bagian timur daerah penelitian, sedangkan fraksi kasar, pasir, hingga pasir lanauan terdapat di bagian barat daerah penelitian. Pada daerah penelitian kondisi hidro-oseanografi menandakan bahwa arus dan gelombang sangat fluktuatif sehingga terekam dalam klasifikasi sortasi butiran yang masuk dalam kelas pemilahan buruk hingga sedang. Mekanisme transportasi sedimen pada fraksi halus (lempung sampai lanau pasiran) tertransportasi secara *Suspension Load* dalam bentuk suspensi.

Selanjutnya dilakukan penelitian oleh Artia dan ST.Fatima (2018) dengan judul “analisis karakteristik sedimen dan laju sedimentasi sungai walane kabupaten wajo”[6] didapatkan hasil uji sample sedimen gradasi partikel sedimen di sungai walane terdiri dari pasir halus, pasir sedang, pasir kasar, dan

nilai berat jenis sedimen berkisar antara 1,53 sampai 2,04 kg/cm<sup>3</sup>. Untuk data pengukuran aliran sungai dan kadar lumpur sedimen di dapatkan angkutan sedimen melayang selama 15 tahun sebesar 1034,2 ton. Dalam perhitungan sedimen dasar menggunakan beberapa metode, metode yang diambil karena mendekati perhitungan di lapangan yaitu metode Meyer-Peter dimana besar sedimen dasar selama 15 tahun sebesar 284,7 ton, dari besarnya sedimen dasar dan sedimen layang diperoleh sedimen total pada aliran sungai walane selama 15 tahun sebesar 1318,9 ton.

Penelitian tentang angkutan sedimen oleh Mirza Arrazy Sumardi dkk (2018) dengan judul “Analisis Angkutan Sedimen di Sungai Air Kolongan Kabupaten Minahasa Utara”[7] penelitian ini menggunakan Metode Van Rijn Dan Einstein menggunakan debit andalan bulanan 10 tahun. Hasil total angkutan sedimen dengan metode Van Rijn sebesar 0,1920 kg/det dan untuk metode Einstein dengan debit yang sama di dapatkan total angkutan sedimen sebesar 0,1092 kg/det. Perbandingan dari hasil analisis angkutan sedimen dari kedua metode diperoleh nilai angkutan sedimen yang paling besar yaitu metode Van Rijn. Metode tersebut lebih di rekomendasikan untuk menganalisis angkutan sedimen di sungai Air Kolongan.

Penelitian oleh Teguh Marhendi, dan Dewi Laras Sulastri Ningsih (2018) dengan judul “Prediksi Peningkatan Sedimen Dengan Metode Angkutan Sedimen (Studi Kasus Sedimentasi Di Waduk Mrica)”[8] didapatkan hasil analisis debit sedimen mulai dari tahun 2005-2014 mengalami kenaikan dan penurunan yang dipengaruhi oleh debit aliran yang terjadi di Sungai Serayu di hulu Waduk Mrica. Dan prediksi sampai 10 tahun mendatang (2015-2024) debit sedimen mengalami peningkatan setiap tahunnya dengan rerata peningkatan 11,11%.

Selanjutnya dilakukan penelitian oleh Roby Hambali, dan Yayuk Aprianti (2016) dengan judul “Studi Karakteristik Sedimen & Laju Sedimentasi Sungai Daeng Kabupaten Bangka Darat”[9] di dapatkan hasil untuk gradasi partikel sedimen terdiri dari pasir halus, pasir sedang, dan pasir kasar serta kerikil halus dan kerikil kasar memiliki diameter rata-rata 1,39 -13,25 mm dan

diameter median (D50) 0,5-1,52 mm. berat volume sedimen berkisar antara 0,808 t/m<sup>3</sup> sampai 0,934 t/m<sup>3</sup>, nilai berat jenis berkisar antara 2,55 sampai 2,69. Kecepatan jatuh partikel sedimen menunjukkan hubungan logaritmik terhadap ukuran rerata sedimen dengan nilai 0,207-0,836 m/s. laju *transport* material dasar per satuan lebar sungai (*qs*) meningkat, dengan meningkatnya kedalaman mengikuti fungsi persamaan geometric dengan nilai maksimal pada bagian hulu dengan kedalaman 1,6 meter sebesar 197,315 kg/s/m, pada bagian tengah 338,423 kg/s/m dan di bagian hilir sebesar 435,97 kg/s/m.

Penelitian oleh Denny Fajar Saputra (2022) dengan judul “Analisa Transport Sedimen Di Desa Sungai Awan Kanan Muara Pawan Kabupaten Ketapang”[10] didapatkan hasil Analisa karakteristik sedimen Jenis sedimen dasar yang ada di 3 titik sungai pawan dominan merupakan kategori pasir. Angkutan sedimen dasar dan sedimen melayang di sunngai pawan dihitung menggunakan metode L.C Van Rijn, Meyer Petter Muller dan metode Sesaat. Sedimen dasar dengan metode Meyer Petter Muller didapatkan hasil untuk penampang satu sebesar 4248.542 m<sup>3</sup>/hari, penampang dua sebesar 3141.415 m<sup>3</sup>/hari, penampang tiga sebesar 1257.600 m<sup>3</sup>/hari. Untuk sedimen layang menggunakan metode Sesaat penampang satu didapatkan hasil sebesar 7911.41 ton/hari, penampang dua sebesar 5478.68 ton/hari, penampang tiga sebesar 2739.74 ton/hari. Hasil Analisa angkutan sedimen total menggunakan metode L.C Van Rijn dengan total sedimen di penampang satu sebesar 974.89 m<sup>3</sup>/hari, penampang 2 sebesar 727.11 m<sup>3</sup>/hari, penampang 3 sebesar 119.49 m<sup>3</sup>/hari.