

**SKRIPSI**

**ANALISIS KARAKTERISTIK SEDIMEN DAN LAJU  
SEDIMENTASI SUNGAI WALANAE KABUPATEN WAJO**



**DISUSUN OLEH :**

**ARTIA**

**105 81 1838 13**

**ST.FATIMA**

**105 81 1827 13**

**JURUSAN SIPIL PENGAIRAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

**2018**

## **KATA PENGANTAR**

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “**Analisis Karakteristik Sedimen Dan Laju Sedimentasi Sungai Walanae Kabupaten Wajo**” guna memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil Pengairan pada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan tugas akhir ini memperoleh bantuan berbagai pihak dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Hamzah Al-Imran, ST.,MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Bapak Muh.Syafaat S.Kuba, ST. Selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Bapak Mu.Amir Zainuddin, ST.,MT. Selaku Sekertaris Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Ibu Dr. Nenny T.Karim, ST.,MT. Selaku Dosen Pembimbing Akademik sekaligus Dosen Pembimbing II dalam penyusunan tugas akhir ini.
5. Seluruh Bapak dan Ibu dosen dan Staf Akademik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

6. Terkhusus penulis ucapkan terima kasih kepada Kedua orang tua kami tercinta, yang telah mencurahkan seluruh cinta, kasih sayang yang hingga kapanpun penulis takkan bisa membalasnya.
7. Terima kasih kepada Balai Wilayah Sungai Sulawesi III karena telah membantu kami dalam pengambilan data-data yang berkaitan dengan tugas akhir kami.
8. Terima kasih juga kepada Himpunan Mahasiswa Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
9. Serta ucapan terima kasih kepada saudara/i seperjuangan Teknik 2013.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi pembaca.

Makassar,

2018

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR NOTASI.....	viii
ABSTRAK.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	2
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Manfaat Penelitian.....	3
E. Batasan Masalah.....	4
F. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	7
A. Sungai.....	7
1. Pandangan Umum Tentang Sungai.....	7
2. Peranan Sungai.....	8
B. Sedimen dan Sedimentasi.....	8
1. Pengertian Sedimen dan Sedimentasi.....	8

2. Proses Sedimen .....	9
3. Angkutan Sedimen .....	10
4. Mekanisme Pergerakan Sedimen .....	17
C. Karakteristik Sedimen .....	21
1. Gradasi .....	21
2. Ukuran Butir Sedimen.....	22
3. Bentuk Butir Sedimen .....	23
4. Volume dan Berat Jenis Sedimen .....	24
5. Kecepatan Jatuh .....	25
D. Pembuatan Lengkung Debit Air .....	26
E. Pengukuran Sedimen Melayang ( <i>Suspended load</i> ) .....	32
F. Pengolahan Data Sedimen Melayang .....	38
G. Pengukuran Sedimen Dasar ( <i>Bed load</i> ).....	42
H. Pengolahan Data Sedimen Dasar.....	48
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>49</b>
A. Lokasi Penelitian .....	49
B. Waktu Penelitian .....	50
C. Sumber Data .....	50
D. Tahapan Penelitian .....	52
E. Analisa Data.....	52
1. Analisis Sedimen .....	52
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>57</b>
A. Hasil Penelitian.....	57
1. Data Sedimen Melayang .....	57
2. Data Sedimen Dasar.....	57
B. Analisis Data Hasil Penelitian .....	59
1. Perhitungan Sedimen Melayang .....	59

2. Perhitungan Besarnya Angkutan Sedimen Dasar .....	68
3. Perhitungan Besarnya Sedimen Dasar .....	68
C. Pembahasan Hasil Pehitungan.....	79
1. Sedimen Melayang ( <i>suspended load</i> ) .....	79
2. Sedimen Dasar ( <i>bed load</i> ).....	79
 BAB V PENUTUP .....	 82
A. Kesimpulan .....	82
B. Saran .....	82

#### DAFTAR PUSTAKA

#### LAMPIRAN

#### DOKUMENTASI

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Proses sedimen dasar .....	12
Tabel 2. Klasifikasi Ukuran Butir Sedimen (Menurut AGU) .....	23
Tabel 3. Hasil uji kadar air .....	57
Tabel 4. Hasil uji berat jenis.....	58
Tabel 5. Hasil uji analisa saringan.....	58
Tabel 6. Rekapitulasi Debit sedimen dasar ( <i>bed load</i> ) berdasarkan beberapa pendekatan.....	76

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Tampang panjang saluran dengan dasar granuler. (Mardjikoen, 1987) .....	11
Gambar 2. Angkutan sedimen pada tampang panjang dengan dasar granuler. (Mardjikoen, 1987) .....	12
Gambar 3. Transpor sedimen dalam aliran air sungai .....	14
Gambar 4. Bagan mekanisme dan asal bahan sedimen.....	17
Gambar 5. Bentuk banjir lahar yang mengandung batu-batu (batu-batu besar berkonterrasasi di bagian depan dan kerikil ukuran kecil terdapat di bagian belakang aliran) .....	18
Gambar 6. Progres gerakan sedimen dan perpindahan daerah pengendapan karena terjadinya perubahan muka air .....	19
Gambar 7. Nilai $\psi_D$ dan $T_C$ yang digunakan pada Persamaan Duboys.....	48
Gambar 8. Lokasi Penelitian di Sungai Walanae.....	50
Gambar 9. Flow Chart.....	56
Gambar 10 Grafik Lengkung Debit.....	59
Gambar 11. Grafik Hubungan Debit sungai dengan Debit sedimen melayang.....	68
Gambar 12. Grafik Hubungan Debit sungai dengan Debit sedimen dasar.....	77
Gambar 13. Grafik Hubungan Debit sungai dengan Debit sedimen.....	77
Gambar 14. Grafik Sedimen Melayang ( $Q_s$ ) .....	78
Gambar 15. Grafik Sedimen Dasar ( $Q_d$ ).....	78



## DAFTAR NOTASI

$Q_w$	= Debit Air ( $m^3/det$ )
$Q_{sm}$	= Debit Sedimen Melayang (ton)
$Q_{sd}$	= Debit Sedimen Dasar (ton)
$Q_b$	= Besar Debit Sedimen Dasar (ton)
$C_s$	= Konsentrasi Sedimen (mg/ltr)
$K$	= Faktor Konversi (0,0864)
$H$	= Tinggi Muka Air (m)
$D$	= Kedalaman Sungai (m)
$A$	= Luas Penampang Basah ( $m^2$ )
$B$	= Lebar Penampang Sungai (m)
$S$	= Kemiringan Dasar Sungai
$V$	= Kecepatan (m/det)
$P$	= Keliling Basah (m)
$R$	= Radius Hidrolik (m)
$g$	= Percepatan Gravitasi ( $m/det^2$ )
$r$	= Nilai Korelasi
$a, b$	= Konstanta
$n$	= Banyaknya Data
$d$	= Diameter Butiran (mm)
$\gamma_s$	= Berat Jenis Sedimen

## ANALISIS KARAKTERISTIK SEDIMEN DAN LAJU SEDIMENTASI SUNGAI WALANAE KABUPATEN WAJO

Artia<sup>1</sup>, St.Fatima<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Prodi Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Unismuh Makassar

Email : [artiabiiii@gmail.com](mailto:artiabiiii@gmail.com)

<sup>2</sup>Prodi Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Unismuh Makassar

Email : [sittifatima19@gmail.com](mailto:sittifatima19@gmail.com)

### ABSTRAK

Analisis Karakteristik Sedimen Dan Laju Sedimentasi Sungai Walanae Kabupaten Wajo, dibimbing oleh Ratna Musa dan Nenny T Karim. Proses sedimentasi yang terjadi secara terus menerus akan menyebabkan pendangkalan yang berpengaruh terhadap penurunan kapasitas pengaliran sungai partikel sungai. Partikel sedimen yang terbawa oleh aliran sungai menuju ke laut akan menyebabkan pengendapan di daerah muara sehingga akan menghalangi aliran sungai ke laut. Tingginya tingkat konsentrasi sedimen akan mengakibatkan kekeruhan sehingga menurunkan kualitas sungai. Sungai Walanae sangat penting dalam sistem tata air di Kabupaten Bone, Soppeng, Wajo dan Maros. Kondisi penutupan lahan yang semakin terbuka dan tingginya sedimentasi mengakibatkan seringnya sungai Walanae meluap. Pada banyak kasus yang ditemui, di Kabupaten Wajo Sungai Walanae mengalami pendangkalan yang signifikan akibat sedimentasi yang bersumber dari erosi lahan yang dipercepat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sedimen sungai Walanae Kabupaten Wajo, sehingga dapat diperkirakan laju sedimentasi yang terjadi dengan menggunakan beberapa pendekatan. Hasil penelitian menunjukkan berdasarkan data hasil uji sample sedimen gradasi partikel sedimen di sungai Walanae terdiri dari pasir halus, pasir sedang, pasir kasar, dan nilai berat jenis sedimennya ( $\gamma_s$ ) berkisar antara 1,53 sampai 2,04 kg/cm<sup>3</sup>. Sedangkan kadar air sedimen (w) di Sungai Walanae berkisar antara 15,12 sampai dengan 53,95. Berdasarkan data pengukuran aliran sungai dan kadar lumpur sedimen, maka kejadian angkutan sedimen melayang selama 15 tahun sebesar 1034,2 ton, dan dalam perhitungan sedimen dasar diambil metode M-P, besar sedimen dasar selama 15 tahun sebesar 284,7 ton. Jadi dari besarnya sedimen melayang dan sedimen dasar, diperoleh tingkat angkutan sedimen total pada aliran sungai Walanae selama 15 tahun sebesar 1318,9 ton.

**Kata kunci :** Sungai, Karakteristik sedimen, Laju sedimentasi

### ABSTRACT

*Analysis of Sediment Characteristics and Sedimentation Rate of Walanae River of Wajo Regency, guided by Ratna Musa and Nenny T Karim. Sedimentation processes that occur continuously will cause siltation that affects the decrease in river drainage capacity of river particles. Sediment particles carried by the river flow to the sea will cause deposition in the estuary so that it will block the flow of the river into the sea. The high level of sediment concentration will lead to turbidity, thus decreasing the quality of the Walanae River river is very important in the water system in Bone, Soppeng, Wajo and Maros regencies. The increasingly open land cover conditions and high sedimentation resulted in frequent overflowing of the Walanae River. In many cases, Wajo River Walanae has significant sedimentation due to accelerated land erosion. This research is aimed to find out the characteristic of sedimentation of Walanae River of Wajo Regency, so it can be estimated the sedimentation rate that occurs by using several approaches. The results showed that sediment gradation sediment samples at Walanae River consist of fine sand, moderate sand, coarse sand, and sediment type ( $\gamma_s$ ) weight values ranging from 1.53 to 2.04 kg / cm<sup>3</sup>. While the water content of sediment (w) on the Walanae River ranged from 15.12 to 53.95. Based on the measurement data of river flow and sediment sludge, the occurrence of sediment transport drifted for 15 years by 1034.2 tons, and in the calculation of basic sediment was taken M-P method, the basic sediment for 15 years was 284.7 tons. So from the amount of floating sediments and basic sediments, the total sediment transport rate in the Walanae river flow for 15 years was 1318.9 tons.*

**Keywords:** River, Sedimentary Characteristic, Sedimentation Rate

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Sungai adalah saluran alamiah di permukaan bumi yang menampung dan menyalurkan air hujan dari daerah yang tinggi ke daerah yang lebih rendah dan akhirnya bermuara di danau atau di laut. Aliran sungai merupakan aliran permukaan yang dapat menjadi sumber air baku guna memenuhi kebutuhan manusia akan sumber air, didalam aliran air terangkut juga material-material sedimen yang berasal dari proses erosi yang terbawa oleh aliran air dan dapat menyebabkan terjadinya pendangkalan akibat sedimentasi dimana aliran air tersebut akan bermuara.

Proses sedimentasi yang terjadi secara terus menerus akan menyebabkan pendangkalan yang berpengaruh terhadap penurunan kapasitas pengaliran sungai partikel sungai. Partikel sedimen yang terbawa oleh aliran sungai menuju ke laut akan menyebabkan pengendapan di daerah muara sehingga akan menghalangi aliran sungai ke laut. Tingginya tingkat konsentrasi sedimen akan mengakibatkan kekeruhan sehingga menurunkan kualitas sungai.

Sungai Walanae sangat penting dalam sistem tata air di Kabupaten Bone, Soppeng, Wajo dan Maros. Kondisi penutupan lahan yang semakin terbuka dan tingginya sedimentasi mengakibatkan seringnya sungai

Walanae meluap, dikarenakan pula pendangkalan danau tempe, di mana danau tempe adalah titik bagian tengah sungai Walanae.

Keberadaan sedimen dalam batas tertentu merupakan bagian dari dinamika keseimbangan alami di sungai dan keberadaan sedimen yang berlebih dapat mempengaruhi karakteristik dan menimbulkan masalah yang berkaitan dengan kehidupan manusia. Seperti banjir dan penurunan kualitas air sebagai contoh, kedalaman sungai berkurang apabila terjadi sedimentasi, hal ini berdampak pada pengurangan kapasitas tampang sungai atau dengan kata lain kemampuan sungai dalam mengalirkan air semakin kecil. Pada banyak kasus yang ditemui, di Kabupaten Wajo Sungai Walanae mengalami pendangkalan yang signifikan akibat sedimentasi yang bersumber dari erosi lahan yang dipercepat.

Sehubungan dengan uraian diatas maka kami melakukan penelitian dengan mengambil judul *“Analisis Karakteristik Sedimen Dan Laju Sedimentasi Sungai Walanae Kabupaten Wajo”*.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah diatas maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik sedimen pada sungai Walanae Kabupaten Wajo.

2. Berapa besar volume sedimen melayang (*suspended load*) dan sedimen dasar (*bed load*) pada sungai Walanae Kabupaten Wajo.

### **C. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah sebagaimana yang diuraikan diatas, maka tujuan penelitian adalah :

- 1) Untuk mengetahui gradasi butir sedimen, berat jenis dan kadar air sedimen yang ada pada sungai Walanae.
- 2) Untuk mengetahui volume sedimen melayang (*suspended load*) dan sedimen dasar (*bed load*) sungai Walanae.

### **D. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mendapatkan pengetahuan tentang karakteristik sedimen dan laju sedimentasi di bagian tengah dan bagian hilir sungai Walanae.
2. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat sebagai berikut:
  - a) Bahan pertimbangan bagi Dinas Pekerjaan Umum Pengairan khususnya BBWS Pompengan Jeneberang.
  - b) Bahan informasi dan tambahan pengetahuan bagi mahasiswa jurusan teknik sipil pengairan pada khususnya serta mahasiswa jurusan lain pada umumnya mengenai daerah aliran sungai, perhitungan hidrologi, karakteristik sedimen, laju sedimentasi dan sebagainya.

## **E. Batasan Masalah**

Untuk menghindari pembahasan yang luas serta memudahkan dalam penyelesaian masalah sesuai rencana dengan tujuan yang ingin dicapai, batasan masalah dalam penelitian adalah sebagai berikut :

1. Lokasi penelitian dilakukan di sungai Walanae Kabupaten Wajo.
2. Pengambilan data dilakukan pada bagian tengah dan bagian hilir sungai Walanae.
3. Panjang Sungai Walanae 169 km (105 mi), lebar sungai 70-75 m.
4. Analisis karakteristik sedimen hanya membahas gradasi butir sedimen, volume sedimen, dan berat jenis sedimen.
5. Menentukan jumlah angkutan sedimen dasar dan sedimen melayang yang berdasarkan kadar lumpur.

## **F. Sistematika Penulisan**

Penulisan ini merupakan susunan yang serasi dan teratur oleh karena itu dibuat dengan komposisi bab-bab guna memperjelas dan mempermudah bagi pembaca dalam memahami atau mengkaji kandungan skripsi ini, itulah perlu disusun sistematika penelitian. Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini :

**Bab I Pendahuluan**, merupakan bab pendahuluan yang menguraikan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan

penelitian, manfaat penelitian, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

**Bab II Tinjauan Pustaka** merupakan tinjauan pustaka yang memuat secara sistematis tentang teori, dari penelitian ini yang meliputi tentang, sungai, pandangan umum tentang sungai, peranan sungai, sedimen dan sedimentasi, proses sedimen, angkutan sedimen, mekanisme pergerakan sedimen, karakteristik sedimen gradasi butir sedimen, berat jenis, angkutan sedimen dasar, angkutan sedimen melayang, angkutan sedimen total dan laju sedimentasi.

**Bab III Metodologi Penelitian** merupakan metodologi penelitian yang menjelaskan waktu dan lokasi penelitian serta tahap-tahap dalam proses penelitian.

**Bab IV Hasil Dan Pembahasan** merupakan analisa hasil dan pembahasan yang menguraikan tentang hasil-hasil yang diperoleh dari proses penelitian dan hasil pembahasannya. Penyajian hasil penelitian memuat deskripsi sistematis tentang data yang diperoleh. Sedangkan pada bagian pembahasan adalah mengolah data hasil penelitian dengan tujuan untuk mencapai tujuan penelitian.

**Bab V Kesimpulan Dan Saran** merupakan penutup yang berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian, serta saran-saran dari penulis yang berkaitan dengan faktor pendukung dan faktor penghambat yang dialami

selama penelitian berlangsung, yang tentunya diharapkan agar penelitian ini berguna untuk ilmu aplikasi rekayasa khususnya bangunan air dan dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya.



## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **A. Sungai**

##### **1. Pandangan Umum Tentang Sungai**

Sebagaimana telah diketahui bahwa sejalan dengan pertambahan jumlah penduduk dan perkembangan sosial ekonomi masyarakat maka tingkat kebutuhan air akan berkembang dengan cepat. Di lain pihak volume air di bumi ini kurang lebih tetap berubahnya hanya pada bentuk mengikuti perulangan air yang biasanya disebut daur hidrologi yang terjadi sepanjang masa. Dengan demikian nilai ekonomi air ini semakin lama semakin meningkat. Sehingga perhatian khusus harus diadakan dalam pemanfaatan sumber alam ini.

Sumber air di darat yang paling dominan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia adalah air yang mengalir di permukaan berupa aliran sungai. Suatu teknologi dan pengolahan yang memadai sangat diperlukan dalam pendayagunaan aliran sungai, agar tidak merusak lingkungan hidup. Sejalan dengan itu diperlukan data hidrologi sungai karena akan sangat membantu untuk pendayagunaan aliran sungai seefektif dan seefisien mungkin. Misalnya saja dalam menentukan tingkat kelayakan dari suatu bangunan air yang ada maupun yang direncanakan pada suatu

lokasi tertentu ataupun di dalam perencanaan bangunan pengamanan sungai sangat diperlukan data hidrologi sungai.

## **2. Peranan Sungai**

Sungai merupakan jaringan alur-alur pada permukaan bumi yang terbentuk secara alamiah mulai dari aliran kecil dibagian hulu sampai aliran besar dibagian hilir. Air hujan yang jatuh diatas permukaan bumi dalam perjalanannya sebagian kecil menguap dan sebagian besar mengalir dalam bentuk alur-alur kecil kemudian menjadi alur-alur sedang seterusnya mengumpul menjadi satu alur besar atau utama. Dengan demikian dapat dikatakan sungai berfungsi menampung curah hujan dan mengalirkannya ke laut.

Dilihat dari fungsi mengalirkan atau mendrainase, sungai sering disebut drainase alam dan daerah yang dikeringkan merupakan drainage area. Lebih jauh, daerah dari mana sungai memperoleh air merupakan daerah tangkap hujan yang biasanya disebut Daerah Aliran Sungai (DAS).

## **B. Sedimen Dan Sedimentasi**

### **1. Pengertian Sedimen Dan Sedimentasi**

Sedimen adalah hasil proses erosi, baik erosi permukaan, erosi parit, atau jenis erosi tanah lainnya. Sedimen umumnya mengendap di bagian bawah kaki bukit, didaerah genangan banjir, di 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 peristiwa pengendapan material batuan yang telah diangkut oleh tenaga air atau angin. Pada saat pengikisan terjadi, air membawa batuan mengalir ke sungai, danau, dan akhirnya sampai di laut. Pada saat kekuatan pengangkutannya berkurang atau habis, batuan diendapkan di daerah aliran air (Anwas, 1994).

## **2. Proses Sedimen**

Sedimen yang dihasilkan oleh proses erosi dan terbawa oleh aliran air akan diendapkan pada suatu tempat yang kecepatan alirannya melambat atau terhenti. Peristiwa pengendapan ini dikenal dengan peristiwa atau proses sedimentasi. Proses sedimentasi berjalan sangat kompleks, dimulai dari jatuhnya hujan yang menghasilkan energy kinetic yang merupakan permulaan dari proses erosi. Begitu tanah menjadi pertikel halus, lalu menggelinding bersama aliran, sebagian akan tertinggal di atas tanah sedangkan bagian lainnya masuk ke sungai terbawa aliran menjadi angkutan sedimen.

Proses sedimentasi dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu :

- a) Proses sedimentasi secara geologis, sedimentasi secara geologis 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 aggradasi pada permukaan 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.

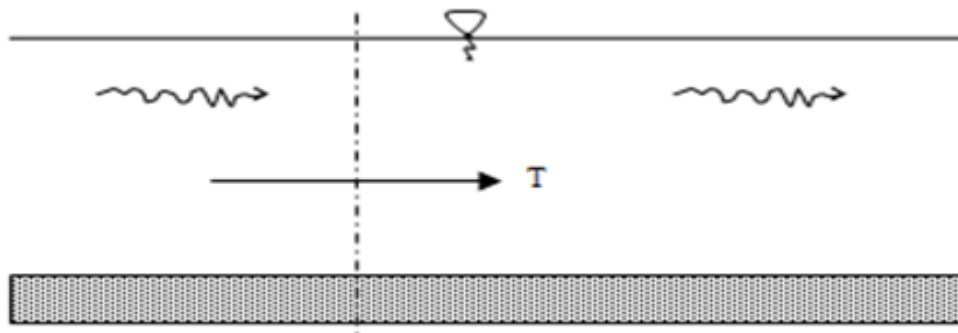
### **3. Angkutan Sedimen (Transport Sedimen)**

Akibat adanya aliran air, timbul gaya-gaya yang bekerja pada material sedimen. Gaya-gaya tersebut mempunyai kecenderungan untuk menggerakkan atau menyeret butiran material sedimen. Pada waktu gaya-gaya yang bekerja pada butiran sedimen mencapai suatu harga tertentu, sehingga apabila sedikit gaya ditambah akan menyebabkan butiran sedimen bergerak, maka kondisi tersebut disebut kondisi kritis. Parameter aliran pada kondisi tersebut, seperti tegangan geser ( $\tau_0$ ), kecepatan aliran ( $U$ ) juga

mencapai kondisi kritis (sumber: skripsi kajian perubahan pola gerusan pada tikungan sungai akibat penambahan debit).

Menurut Mardjikoen (1987), angkutan sedimen merupakan perpindahan tempat bahan sedimen *granular (non kohesif)* oleh air yang sedang mengalir searah aliran. Banyaknya angkutan sedimen  $T$  dapat ditentukan dari perpindahan tempat suatu sedimen yang melalui suatu tampang lintang selama periode waktu yang cukup.

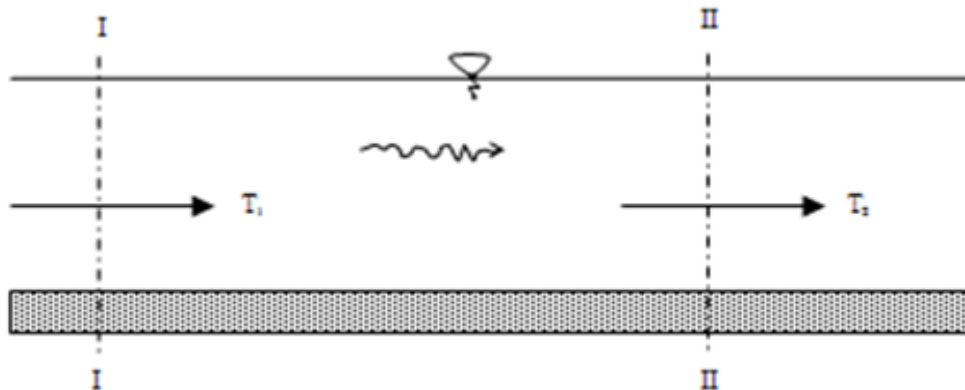
Lihat Gambar 2.1.  $T$  dinyatakan dalam (berat, massa, volume) tiap satuan waktu.



Gambar 1. Tampang panjang saluran dengan dasar granuler. (Mardjikoen, 1987)

Laju sedimen yang terjadi biasa dalam kondisi seimbang (*equilibrium*). Erosi (*erosion*), atau pengendapan (*deposition*), maka dapat ditentukan kuantitas sedimen yang terangkut dalam proses tersebut.

Proses sedimentasi di dasar saluran dapat dilihat pada gambar 2



Gambar 2. Angkutan sedimen pada tampang panjang dengan dasar granuler. (Mardjikoen, 1987)

Tabel 1. Proses sedimen dasar (Mardjikoen, 1987)

Perbandingan T	Proses yang terjadi	
	Sedimen	Dasar
$T_1 = T_2$	Seimbang	Stabil
$T_1 < T_2$	Erosi	Degradasi
$T_1 > T_2$	Pengendapan	Agradasi

Kondisi yang dikatakan sebagai awal gerakan butiran adalah salah satu dari peristiwa berikut :

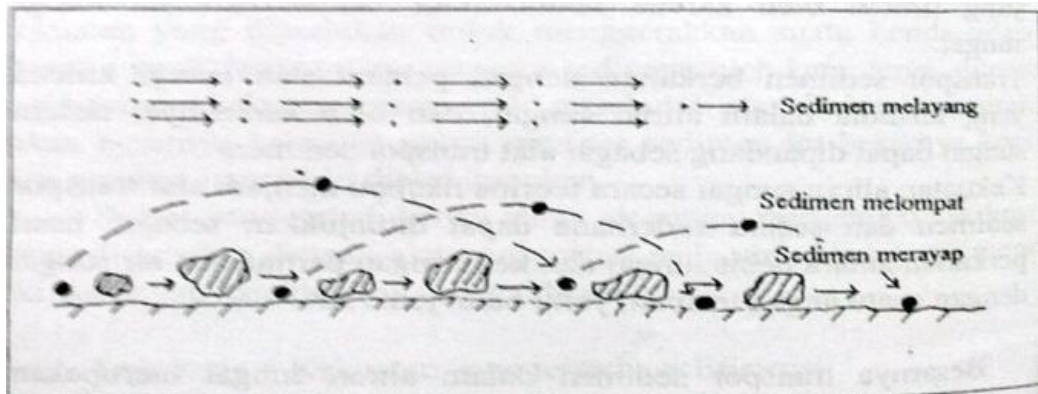
1. Satu butiran bergerak,
2. Beberapa (sedikit) butiran bergerak,
3. Butiran bersama-sama bergerak dari dasar, dan
4. Kecenderungan pengangkutan butiran yang ada sampai habis.

Tiga factor yang berkaitan dengan awal gerak butiran sedimen yaitu :

1. Kecepatan aliran dan diameter / ukuran butiran,
2. Gaya angkat yang lebih besar dari gerak berat butiran, dan
3. Gaya geser kritis.

Partikel-partikel kasar yang bergerak sepanjang dasar sungai secara keseluruhan disebut dengan muatan sedimen dasar (*bed load*). Adanya muatan sedimen dasar ditunjukkan oleh gerakan partikel-partikel dasar sungai. Gerakan itu dapat bergeser, menggelinding, atau meloncat-loncat, akan tetapi tidak pernah lepas dari dasar sungai. Gerakan ini kadang-kadang dapat sampai jarak tertentu dengan ditandai bercampurnya butiran partikel tersebut bergerak ke arah hilir.

Menurut Asdak (2014), proses transportasi 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*). Sedang partikel yang lebih besar, antara lain, pasir cenderung bergerak dengan cara melompat. Partikel yang lebih besar dari pasir, misalnya kerikil (*gravel*) bergerak dengan cara merayap atau menggelinding di dasar sungai (*bedload*) seperti pada gambar berikut.



Gambar 3. Transpor sedimen dalam aliran air sungai (Asdak, 2014)

Besarnya ukuran sedimen yang terangkut aliran air ditentukan oleh interaksi faktor-faktor sebagai berikut ukuran sedimen yang masuk ke dalam sungai / saluran air, karakteristik saluran, debit, dan karakteristik fisik partikel sedimen. Besarnya sedimen yang masuk ke sungai dan besarnya debit ditentukan oleh faktor iklim, topografi, geologi, vegetasi, dan cara bercocok tanam di daerah tangkapan air yang merupakan asal datangnya sedimen. Sedang karakteristik sungai yang penting, terutama bentuk morfologi sungai, tingkat kekasaran dasar sungai, dan kemiringan sungai. Interaksi dan masing-masing faktor tersebut di atas akan menentukan jumlah dan tipe sedimen serta kecepatan transport sedimen.

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 ditentukan terlarut dalam sungai atau



disebut muatan sedimen (*suspended sedimen*) dan merayap di dasar sungai atau dikenal sebagai sedimen dasar (*bed load*).

Menurut ukurannya, sedimen dibedakan menjadi:

1. Liat ukuran partikelnya < 0,0039 mm
2. Debu ukuran partikelnya 0,0039-0,0625 mm
3. Pasir ukuran partikelnya 0,0625-2,0 mm
4. Pasir besar ukuran partikelnya 2,0-64,0 mm

Proses pengangkutan sedimen (*sediment transport*) dapat diuraikan meliputi tiga proses sebagai berikut:

- a) Pukulan air hujan (*rainfall detachment*) terhadap bahan sedimen yang terdapat diatas tanah sebagai hasil dari erosi percikan (*splash erosion*) dapat menggerakkan partikel-partikel tanah tersebut dan akan terangkut bersama-sama limpasan permukaan (*overland flow*).
- b) Limpas permukaan (*overland flow*) juga mengangkat bahan sedimen yang terdapat di permukaan tanah, selanjutnya dihanyutkan masuk kedalam alur-alur (*rills*), dan seterusnya masuk ke dalam selokan dan akhirnya ke sungai.
- c) Pengendapan sedimen, terjadi pada saat kecepatan aliran yang dapat mengangkat (*pick up velocity*) yang dipengaruhi oleh besarnya partikel-partikel sedimen dan kecepatan aliran.

Ada dua kelompok cara mengangkut sedimen dari batuan induknya ke tempat pengendapannya, yakni suspensi (*suspended load*) dan (*bed load transport*). Di bawah ini diterangkan secara garis besar ke duanya.

a) Suspensi

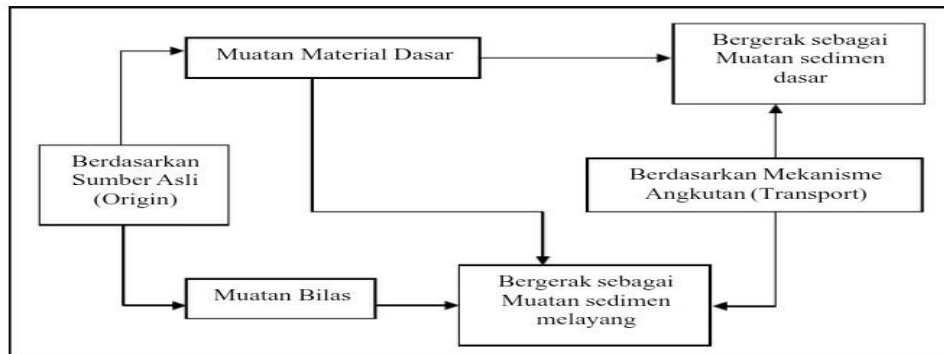
Dalam teori segala ukuran butir sedimen dapat dibawa dalam suspensi, jika arus cukup kuat. Akan tetapi di alam, kenyataannya hanya material halus saja yang dapat di angkut suspensi. Sifat sedimen hasil pengendapan suspensi ini adalah mengandung prosentase masa besar yang tinggi sehingga butiran tampak mengembag dalam masa besar dan umumnya disertai memilahan butir yang buruk. Ciri lain dari jenis ini adalah butir sedimen yang diangkut tidak pernah menyentuh dasar aliran.

b) Bed load transport

Berdasarkan tipe gerakan media pembawanya, sedimen dapat dibagi menjadi dua:

1. Endapan arus traksi
2. Endapan arus pekat (*density curret*) dan
3. Endapan suspensi.

Secara skematis angkutan sedimen dapat digambarkan sebagai berikut :

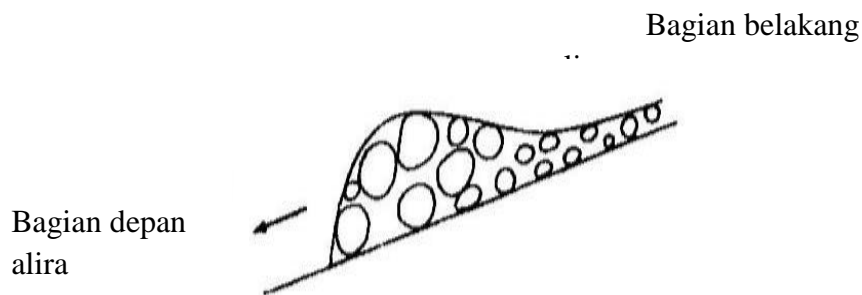


Gambar 4. Bagan mekanisme dan asal bahan sedimen (Mardjikoen, 1987)

#### 4. Mekanisme Pergerakan Sedimen

Sungai adalah jalur aliran air diatas permukaan bumi yang selain mengalirkan air, juga mengangkut sedimen yang terkandung dalam air sungai tersebut. Gerakan butiran tanah atau butiran pasir secara individual akibat tertimpa titik-titik hujan atau terdorong aliran air dalam alur-alur kecil tersebut gerakan fluvial (*fluvial movement*). Gaya – gaya yang menyebabkan bergeraknya butiran kerikil yang terdapat diatas permukaan dasar sungai dan gaya geser serta gaya angkat yang dihasilkan oleh kekuatan aliran air sungai.

Gerakan massa sedimen adalah gerakan air bercampur masa sedimen dengan konsentrasi yang sangat tinggi, di sungai arus deras, di daerah lereng-lereng pegunungan atau gunung berapi. Gerakan sedimen ini disebut sedimen luruh yang biasanya dapat terjadi didalam alur sungai arus deras (*torrent*) yang kemiringan dari  $15^0$ .

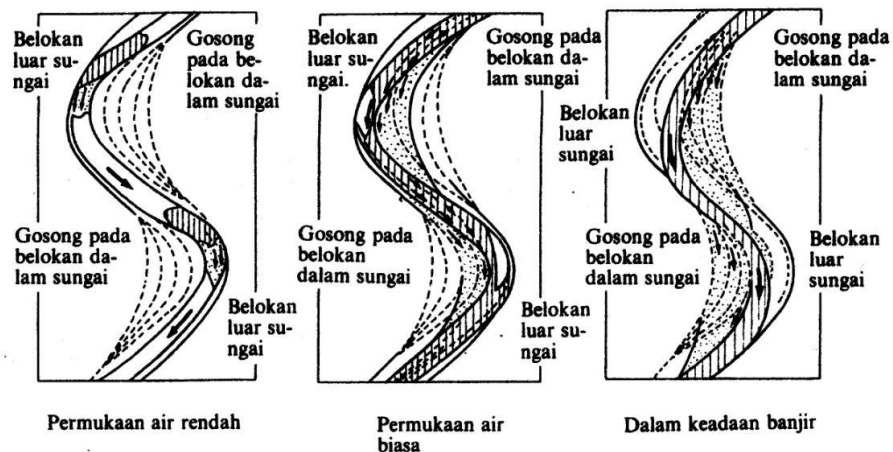


Gambar 5. Bentuk banjir lahar yang mengandung batu-batu (batu-batu besar berkonterrasi di bagian depan dan kerikil ukuran kecil terdapat di bagian belakang aliran). ( Sumber : Perbaikan dan Pengaturan Sungai, Suyono Sudarsono dan Masateru Tominaga, 2008).

Bahan utama sedimen luruh biasanya terdiri dari pasir atau lumpur yang bercampur kerikil dan batu-batu dari berbagai proporsi dan ukuran. Ukuran batu-batu yang terdapat pada sedimen luruh sangat bervariasi mulai dari beberapa cm sampai m. sedimen luruh yang bahannya berasal dari pelapukan batuan yang sebagian besar berupa pasir disebut pasir luruh (*sand flow*) dan yang sebagian besar berupa lumpur disebut lumpur luruh (*mud flow*). Selain itu sedimen luruh yang bahannya berasal dari hasil letusan gunung berapi disebut banjir lahar dingin atau hanya dengan sebutan banjir lahar.

Kalau suplai sedimen besar dari kemampuan transport maka akan terjadi aggradasi. Sedangkan kalau suplai sedimen, lebih kecil dari kemampuan transport maka akan terjadi degradasi. Kemampuan transport sendiri dipengaruhi oleh debit, kecepatan aliran rata-rata, kemiringan (*slope*), tegangan geser dan karakteristik sedimen. Agar tidak terjadi

agradasi dan degradasi harus diciptakan kondisi seimbang dalam suatu sungai. Kondisi seimbang dalam suatu sungai akan terjadi apa bila terjadi suplai sedimen (diminan dari DAS) sama dengan kapasitas transport sedimen sistem sungai.



Gambar 6. Progres gerakan sedimen dan perpindahan daerah pengendapan karena terjadinya perubahan muka air. ( Sumber : Perbaikan dan Pengaturan Sungai, Suyono Sudarsono dan Masateru Tominaga, 2008).

Mekanisme pengangkutan butir-butir tanah yang dibawa dalam air yang mengalir dapat digolongkan menjadi beberapa bagian sebagai berikut.

- a) Wash Load Transport atau angkutan sedimen cuci, yaitu bahan *wash load* berasal dari pelapukan lapisan pelapukan lapisan permukaan tanah yang menjadi lepas beberapa debu-debu halus selama musim kering ini selanjutnya dibawa masuk ke sungai baik oleh angin maupun oleh air hujan yang turun pertama pada musim hujan, sehingga jumlah sedimen

pada awal musim hujan lebih, sehingga jumlah sedimen pada awal musim hujan lebih banyak dibandingkan dengan keadaan lain.

- b) **Suspended Load Transport** atau angkutan sedimen layang. Yaitu butir-butir tanah bergerak melayang dalam air. Gerakan butir-butir tanah ini terus menerus dikompresir oleh gerak turbulensi aliran sehingga butir-butir tanah bergerak melayang diatas saluran. Bahan *suspended load* terjadi dari pasir halus yang bergerak akibat pengaruh turbulensi aliran, debit, dan kecepatan aliran. Semakin besar debit maka semakin besar pula angkutan *suspended load*.
- c) **Saltation Load Transport** atau angkutan sedimen loncat, yaitu pergerakan butir-butir tanah yang bergerak dalam aliran air antara pergerakan *suspended load* dan *bed load*. Butir-butir tanah bergerak secara terus menerus meloncat-loncat (*skip*) dan melabung (*bounce*) sepanjang saluran tanpa menyentuh dasar saluran.
- d) **Bed Load Transport** atau angkutan sedimen dasar, yaitu merupakan angkutan butir-butir tanah yang berupa pasir kasar (*coarse and*) yang bergerak secara menggelinding (*rolling*), mendorong dan menggeser (*pushing and sliding*) terus menerus pada dasar aliran yang pergerakannya dipengaruhi oleh adanya gaya seret (*drag force*). Gerakan ini kadang-kadang dapat sampai jarak tertentu yang ditandai bercampurnya butiran partikel tersebut bergerak kearah hilir (Soewarno, 1991).

## C. Karakteristik Sedimen

Adapun karakteristik sedimen yang berkaitan dengan transpor sedimen :

### 1. Gradasi

Gradasi atau susunan butir adalah distribusi dari ukuran agregat. Distribusi ini bervariasi dapat dibedakan menjadi tiga yaitu gradasi sela (*gap grade*), gradasi menerus (*continous grade*) dan gradasi seragam (*uniform grade*).

Gradasi agregat dapat dibedakan atas :

1. Gradasi seragam (*uniform graded*) adalah gradasi agregat dengan ukuran butir yang hampir sama. Gradasi seragam ini disebut juga gradasi terbuka (*open gradasi*) karena hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga terdapat banyak rongga/ ruang kosong antar agregat.
2. Gradasi rapat (*dense graded*) adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus, sehingga sering juga disebut gradasi menerus, atau gradasi baik (*well graded*).
3. Gradasi senjang (*gap graded*) adalah gradasi agregat dimana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau ada fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali. Campuran beraspal dengan gradasi ini

memiliki kualitas peralihan dari keadaan campuran dengan gradasi yang disebutkan diatas.

## 2. Ukuran Butir Sedimen

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



Tabel 2. Klasifikasi Ukuran butir sedimen (menurut AGU)

Rentang diameter mm)	Nama	Rentang diameter (mm)	Nama
4096 - 2048	Batu sangat besar (Very Large Boulders)	1/2 - 1/4	Pasir sedang (Medium Sand)
2048 - 1024	Batu besar (Large Boulders)	1/4 - 1/8	Pasir halus (Fine Sand)
1024 - 512	Batu sedang (Medium Boulders)	1/8 - 1/16	Pasir sangat halus (Very Fine Sand)
512 - 256	Batu kecil (Small Boulders)	1/16 - 1/32	Lumpur kasar (Coarse Silt)
256 - 128	Kerakal besar (Large Cobbles)	1/32 - 1/64	Lumpur sedang (Medium Silt)
128 - 64	Kerakal kecil (Small Cobbles)	1/64 - 1/128	Lumpur halus (Fine Silt)
64 - 32	Kerikil sangat kasar (Very Coarse Gravel)	1/128 - 1/256	Lumpur sangat halus (Very Fine Silt)
32 - 16	Kerikil kasar (Coarse Gravel)	1/256 - 1/512	Lempung kasar (Coarse Clay)
16 - 8	Kerikil sedang (Medium Gravel)	1/512 - 1/1024	Lempung sedang (Medium Clay)
8 - 4	Kerikil halus (Fine Gravel)	1/1024 - 1/2048	Lempung halus (Fine Clay)
4 - 2	Kerikil sangat halus (Very Fine Gravel)	1/2048 - 1/4096	Lempung sangat halus (Very Fine Clay)
2 - 1	Pasir sangat kasar (Very Coarse Sand)		Koloid
1 - 1/2	Pasir kasar (Coarse Sand)		

### 3. Bentuk Butir Sedimen

Bentuk butir sedimen merupakan salah satu sifat sedimen yang sering dianggap ikut berpengaruh terhadap proses transpor sedimen. Bentuk butir sedimen direpresentasikan oleh koefisien/parameter yang dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu :

#### a) Sphericity

Koefisien/parameter yang sering digunakan untuk mendefinisikan bentuk butir sedimen berdasarkan volumenya adalah *sphericity*.

- Untuk bentuk butir sedimen berbentuk bola, nilai sphericity sama dengan satu.
- Untuk bentuk yang lain, nilai sphericity kurang dari pada satu.

#### b) Roundness

Koefisien/parameter yang biasa digunakan untuk mendefinisikan bentuk sedimen berdasarkan proyeksi luasan butir sedimen adalah *roundness*.

- Koefisien *roundness* digunakan untuk menunjukkan keruncingan ujung-ujung butir sedimen.

c) Shape factor

Untuk nilai shape factor didasarkan pada nilai-nilai sumbu triaxial yang saling tegak lurus, yaitu sumbu panjang a, sumbu menengah b, sumbu pendek c.

$$\text{Shape factor} = \frac{c}{\sqrt{a \cdot b}} \dots\dots\dots(1)$$

- Untuk butiran berbentuk bola, nilai shape factor ini akan sama dengan satu sedangkan untuk butiran dengan bentuk selain bola, nilai shape factor lebih kecil dari satu.
- Shape factor mempengaruhi besar kecilnya hambatan aliran  $C_D$ .

$$C_D = \frac{24 \mu}{W d P} = \frac{24}{Re} \dots\dots\dots(2)$$

#### 4. Volume Dan Berat Jenis Sedimen

Berat volume (*specific weight*) sedimen adalah berat butir partikel sedimen setiap satu satuan volume, sedangkan berat jenis (*specific gravity*) sedimen adalah rasio butir berat partikel sedimen terhadap berat volume air (ponce, 1989). Berat jenis sedimen pada umumnya diperkirakan

sekitar 2,65, kecuali untuk material yang berat seperti magnetit (berat jenis 5,18).

## 5. Kecepatan Jatuh

Kecepatan jatuh (*fall velocity*) partikel merupakan kecepatan akhir sedimen untuk mengendap pada air diam. Menurut ponce (1989), kecepatan jatuh merupakan fungsi ukuran, bentuk, berat jenis partikel, volume partikel dan kekentalan air disekitarnya. Untuk partikel dengan bentuk yang tidak bulat (*spherical*), kecepatan jatuhnya dapat dinyatakan dengan :

$$W = \left[ \frac{4}{3} \cdot \frac{gd_s}{C_D} \cdot \frac{Y_S - Y}{Y} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

$w$  = kecepatan jatuh (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$d_s$  = diameter partikel (mm)

$C_D$  = koefisien larutan / *drag coefficient* (tidak berdimensi)

$y_s$  = berat volume partikel (g/cm<sup>3</sup>)

$y$  = berat volume air (1,0 g/cm<sup>3</sup>)

*Drag coefficient* merupakan fungsi angka reynold dari partikel  $R$ , yang ditentukan dengan :

$$R = \left[ \frac{wd_s}{\nu} \right] \dots\dots\dots(4)$$

$\nu$  adalah kekentalan kinematik cairan. Untuk angka Reynold partikel lebih kecil dari 0,1, maka  $C_D = 24/R$ . Dengan mensubstitusi nilai  $C_D$  ini ke dalam persamaan 3,2, maka mengarah pada hukum Stoke (Stokes' law):

$$w = \left[ \frac{gd^2}{18\nu} \right] \left( \frac{y_s - y}{y} \right) \dots\dots\dots(5)$$

Untuk angka Reynol partikel lebih besar dari 0,1,  $C_D$  masih merupakan fungsi angka Reynold, tetapi hubungannya tidak dapat digambarkan dalam bentuk analitis. Oleh karena itu kecepatan jatuh bervariasi terhadap suhu dan kekentalan, dua partikel dengan ukuran, bentuk dan berat jenis yang sama jatuh pada dua cairan dengan kekentalan yang berbeda atau pada cairan yang sama dengan suhu yang berbeda, maka akan memiliki kecepatan jatuh yang berbeda.

#### **D. Pembuatan Lengkung Debit Air**

Debit air diperoleh dengan mengalihkan luas tampang aliran dan kecepatan aliran. Kedua parameter tersebut dapat diukur pada suatu tampang lintang (stasiun) di sungai. Luas tampang aliran diperoleh dengan mengukur elevasi permukaan air dan dasar sungai. Apabila dasar dan tebing sungai tidak berubah (tidak mengalami erosi atau sedimentasi).

Pengukuran elevasi dasar sungai dilakukan hanya satu kali. Kemudian dengan mengukur elevasi muka air untuk berbagai kondisi, mulai dari debit kecil sampai debit besar (banjir), dapat dihitung luas

tampang untuk berbagai elevasi muka air tersebut. Kecepatan aliran juga dihitung bersamaan dengan pengukuran elevasi muka air. Dengan demikian dapat dihitung (*rating curve*), yaitu hubungan antara elevasi muka air dan debit. Dengan telah dibuatnya kurva debit, selanjutnya debit sungai dapat dihitung hanya dengan mengukur elevasi muka air. Penggunaan kuva debit hanya dapat dilakukan apabila sungai tidak dipengaruhi oleh pasang surut.

Bentukampang memanjang dan melintang sungai adalah tidak teratur. Selain itu, karena pengaruh kekentalan air dan kekasaran dinding, distribusi kecepatan pada vertikal dan lebar sungai adalah tidak seragam.

Distribusi kecepatan pada vertikal mempunyai bentuk parabolis dengan kecepatan nol didasar dan bertambah besar dengan jarak menuju kepermukaan. Dalam arah lebar sungai, kecepatan aliran kedua tebing adalah nol, dan semakin ketengah kecepatan semakin bertambah besa. Dengan memperhatikan distribusi tersebut, maka pengukuran kecepatan harus dilakukan di beberapa vertikal dalam arah lebar sungai dan beberapa titik pada vetikal. Semakin banyak vetikal dan titik pengukuran akan memberikan hasil yang semakin baik.

Dari data kecepatan di beberapa titik pada vetikal dihitung kecepatan reratanya dengan menyamakan luasan distibusi kecepatan terukur dengan luasan kecepatan rerata pada seluruh kedalaman.

Lengkung debit dibuat berdasarkan analisa grafik dari data pengukuran debit yang digambarkan pada kertas grafis dari data pengukuran debit yang digambarkan pada kertas grafik aritmatik atau logaritmik. Analisa yang betul dari bentuk dan posisi lengkung debit memerlukan pengetahuan tentang sifat alur sungai, hidrolika sungai, dan pengalaman dari pembuatan lengkung debit.

1. Metode yang digunakan dalam membuat lengkung debit air adalah sebagai berikut.

a. Metode grafis

Data pengukuran debit digambarkan pada kertas blangko lengkung debit. Nilai debit digambarkan pada skala mendatar sedangkan tinggi muka air digambarkan pada skala tegak. Data pengukuran yang digunakan untuk menentukan kurva lengkung debit adalah nilai debit untuk kondisi aliran seragam. Debit yang diukur pada saat muka air naik akan lebih besar dan diukur pada saat air turun akan lebih kecil dibanding debit yang diukur pada kondisi tinggi air tetap.

b. Metode Logaritmik

Pada metode ini kurva lengkung debitnya digambarkan pada kertas logaritmik, grafiknya merupakan garis lurus (mendekati garis lurus) atau merupakan potongan-potongan bagian garis lurus dengan cara menambah atau mengurangi tinggi muka air sebesar tinggi aliran nol ( $H_0$ ), untuk setiap

harga tinggi muka air ( $H$ ). Salah satu keuntungan penerapan metode logaritmik yaitu lengkung debit mudah diperpanjang.

Persamaan umum hubungan antara tinggi muka air dan debit adalah.

$$Q = K (H-H_0)^n \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :  $Q =$  Debit ( $m^3/det$ )

$K =$  Konstanta

$N =$  Konstanta

$H =$  Tinggi muka air (m)

$H_0 =$  Kedalaman aliran nol (m)

1. Penentuan harga  $H_0$  :

Pada penerapan rumus 6 maka langkah pertama adalah penentuan harga  $H_0$ , ada 3 cara penentuan  $H_0$  yaitu :

a. Coba-coba (*Trial and eror*)

Semua data pengukuran digambarkan pada kertas grafik logaritmik. Dengan cara coba-coba harga  $H_0$  sembarang ditambahkan atau dikurangkan pada setiap data  $H$  sehingga diperoleh garis lurus.

b. Aritmatik

Semua data pengukuran debit digambarkan pada kertas grafik logaritmik. Pilih harga debit  $Q_1$ ,  $Q_2$ , dan  $Q_3$  dari kurva lengkung debitnya, dan harga  $Q_2$  ditentukan dari persamaan rata-rata geometris sebagai berikut:

$$Q_2 = (Q_1 \times Q_3)^{0,5} \dots\dots\dots(7)$$

Baca pada kurva lengkung debitnya harga H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>3</sub>, berdasarkan Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> dan Q<sub>3</sub>. Harga H<sub>0</sub> ditentukan dengan persamaan :

$$H_0 = \frac{H_1.H_3 - H_2^2}{H_1 + H_3 - 2.H_2} \dots\dots\dots(8)$$

2. Penentuan konstanta K dan n

Setelah semua data pengukuran debit digambarkan pada kertas grafik logaritmik dan telah ditentukan garis lurusx dengan menambah atau mengurangi harga H terhadap H<sub>0</sub>, langkah selanjutnya adalah menentukan harga K dan n dari persamaan 6. Untuk menentukan harga K dan n dapat dilakukan dengan salah satu cara sebagai berikut :

a. Statistik

Pada penerapan cara statistik harga K dan n ditentukan dengan produser kuadrat terkecil (*least square*). Persamaan dapat diubah menjadi persamaan garis lurus sebagai berikut :

$$\text{Log } Q = \log K + n \log (H-H_0) \dots\dots\dots(9)$$

Harga konstanta K dan n ditentukan dengan persamaan :

$$(\sum y) - m \log K - n (\sum x) = 0 \dots\dots\dots(10)$$

$$(\sum xy) - (\sum x) \log K - n (\sum x^2) = 0 \dots\dots\dots(11)$$

Dimana : (∑y) = jumlah harga log Q.

(∑x) = jumlah harga log (H - H<sub>0</sub>).



$(\sum x^2)$  = jumlah harga kuadrat dari (x).

$(\sum xy)$  = jumlah harga (X) dikalikan (Y).

M = jumlah data

#### b. Aritmatik

Pada umumnya persamaan garis lurus yang digambarkan pada kertas grafik aritmatik akan muncul 2 buah titik  $(x_1, y_1)$  dan  $(x_2, y_2)$ , sehingga diperoleh persamaan berikut:

$$\frac{x-x_1}{y-y_1} = \frac{x_2-x_1}{y_2-y_1} \dots\dots\dots(12)$$

Persamaan 12 apabila digambarkan pada kertas logaritmik akan mengikuti persamaan berikut:

$$\frac{\log x - \log x_1}{\log y - \log y_1} = \frac{\log x_2 - \log x_1}{\log y_2 - \log y_1} \dots\dots\dots(13)$$

Apabila koordinat  $(x_1, y_1)$  dan  $(x_2, y_2)$  diganti dengan koordinat tinggi muka air dengan debit  $(H_1, Q_1)$  dan  $(H_2, Q_2)$  maka persamaan 14 dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\log Q - \log Q_1}{\log(H-H_0) - \log H_1} = \frac{\log Q_2 - \log Q_1}{\log H_2 - \log H_1} \dots\dots\dots(14)$$

Harga n merupakan kemiringan dari garis lurus kurva lengkung debit, diperoleh dari :

$$n = \frac{a}{b} \dots\dots\dots(15)$$

keterangan :

a = proyeksi horizontal garis lurus kurva lengkung debit

b = proyeksi vertikal garis lurus kurva lengkung debit

Harga K adalah sama dengan harga debit Q, apabila harga  $(H - H_0) = 1,00$ .

Dari kedua metode pembuatan lengkung debit air sungai yaitu metode grafis dan logaritmik. Pada tugas akhir ini digunakan metode logaritmik, karena hasil yang diperoleh lebih akurat dengan menggunakan beberapa persamaan.

#### **E. Pengukuran Sedimen Melayang (*Suspended Load*)**

Maksud pengukuran angkutan sedimen melayang adalah menentukan konsentrasi sedimen, ukuran butir sedimen dan produksi sedimen melayang dari suatu DPS dilokasi pos duga air. Konsentrasi sedimen dapat dinyatakan dalam berbagai cara, antara lain:

- a. Dinyatakan dengan perbandingan antara perbandingan berat sedimen kering yang terkandung pada satu unit volume sedimen bersama-sama airnya dari suatu sampel, biasanya dinyatakan dalam satuan  $\text{mg/l}$ ,  $\text{g/m}^3$ ,  $\text{kg/m}^3$  atau  $\text{ton/m}^3$ .
- b. Dinyatakan dengan perbandingan volume partikel sedimen yang terkandung pada satu unit volume sampel air, biasanya dinyatakan dalam satuan %.
- c. Konsentrasi sedimen dapat juga dinyatakan dalam parsper milion (ppm), apabila konsentasinya rendah, dihitung dengan cara membagi

berat sedimen kering dengan berat sampelnya dan mengalikan hasil bagi tersebut  $10^6$ .

a. Metode pengambilan sampel sedimen melayang :

1. Metode Integrasi.

Pada umumnya cara ini digunakan untuk pengukuran konsentrasi sedimen melayang pada sungai lebar atau pada sungai yang mempunyai penyebaran konsentrasi sedimen bervariasi. Jumlah titik pengukuran bervariasi tergantung dari kedalaman aliran dan ukuran butir sedimen melayang. Metode ini dapat dibedakan menjadi dua :

a. Banyak titik (*multipoin method*)

b. Sederhana (*simplifield method*)

2. Metode integrasi kedalaman

Pada cara ini sampel sedimen diukur dengan cara menggerakkan alat ukur sedimen naik atau turun pada suatu vertikal dengan kecepatan gerak sama. Pengukuran ini dapat dilakukan pada seluruh kedalaman atau pada vertikal kedalaman dibagi menjadi beberapa interval kedalaman. Pengukuran ini dapat dilakukan dengan dua cara :

a. EDI (*equa-discharge-increment*)

Pada ssuatu penampang melintang dibagi menjadi beberapa sub penampang, dimana setiap sub penampang haus mempunyai debit yang sama. Kemudian pengukuran sedimen dengan cara ini dilaksanakan pada bagian tengah setiap sub penampang tersebut. Misalnya pada setiap bagian

penampang itu menampung 25% dari debit, maka pengukuran sedimennya harus dilaksanakan pada vertikal yang mempunyai debit komulatif 12,5;62,5;87,5%. Pengukuran tersebut dilaksanakan dengan menentukan jumlah vertikal antara 3-10 bagian penampang, dengan debit sama. Untuk 3 penampang pengukuran dilakukan pada vertikal 1/6, 3/6, 5/6 bagian debit.

Pada pengukuran sedimen dengan cara ini dibutuhkan team pengukuran yang telah mempunyai pengalaman sifat dari aliran sungai. Konsentrasi sedimen dari suatu penampang sungai merupakan pebandingan antara debit sedimen dan debit aliran sungai. Nilai ini dapat diumuskan sebagai berikut :

$$Q_s = C \cdot Q \dots\dots\dots(16)$$

Keterangan :

$Q_s$  = debit sedimen ( $m^3/detik$ )

$C$  = konsentrasi sedimen (mg/l)

$Q$  = debit aliran ( $m^3/detik$ )

Untuk pengukuran sedimen cara EDI ini persamaan 16 dapat diubah menjadi:

$$Q_s = \sum_1^n \bar{C}_i \cdot q_i \cdot \Delta x_i \dots\dots\dots(17)$$

$$\text{Apabila } Q = \sum_1^n \bar{q}_i \Delta x_i \dots\dots\dots(18)$$

Maka konsentrasi rata-ratanya adalah :

$$\bar{C} = \frac{\sum_1^n \bar{C} q_i \Delta x_i}{\sum_1^n q_i \Delta x_i} \dots\dots\dots(19)$$

Keterangan :

C = konsentrasi rata-rata sedimen pada sedimen pada suatu penampang sungai (mg/l)

C<sub>i</sub> = konsentrasi sedimen pada sub penampang ke i (mg/l) Δ x<sub>i</sub> =lebar sub penampang sungai ke i (m)

Q<sub>i</sub> = debit per lebar sub penampang (m<sup>3</sup>/det)

N = jumlah vertikal pengukuran

Karena pada cara EDI nilai q<sub>2</sub>,q<sub>2</sub>,q<sub>n</sub> = Q/n maka persamaan 19 dapat diubah menjadi :

$$\bar{C} = \frac{\frac{Q}{n} \sum_1^n C_i}{Q} \dots\dots\dots(20)$$

$$\bar{C} = \frac{\sum_1^n C_i}{n} \dots\dots\dots(21)$$

b. *EWI (equal-width-incement)*

Pengambilan sampel sedimen melayang dengan cara *equal-width-incement* (EWI) ini dilaksanakan dengan cara sebagai berikut: pada suatu penampang melintang dibagi sejumlah jalur vertikal pengukuran dengan jarak setiap vertikal dibuat sama. Pengukuran angkutan sedimen melayang pada setiap jalur vertikal dilakukan dengan cara integrasi kedalaman serta

menggerakkan alat ukurnya turun ataupun naik dengan kecepatan yang sama untuk semua jalur vertikal. Cara EWI paling sering digunakan pada sungai dangkal atau pada sungai yang dasarnya pasir dimana penyebaran aliran pada suatu penampang melintang berubah-ubah. Jumlah vertikal pada cara EWI tergantung pada kondisi aliran dan sedimen pada saat melakukan pengukuran, serta tingkat ketelitian yang diinginkan. Untuk menentukan jumlah vertikal yang diperlukan pada setiap penampang melintang sungai dibutuhkan banyak pengalaman, untuk sungai yang lebar dan dangkal 20 vertikal sudah cukup dan minimal 3 vertikal tergantung ketelitian yang diinginkan.

Jarak vertikal ditentukan dengan cara membagi lebar sungai dengan jumlah vertikal yang diinginkan. Lokasi pengukuran sedimen ditentukan dengan cara rata-rata tengah (*mid section method*) sebagai contoh, lebar sungai 53,0 m, jumlah vertikal 10 buah maka jarak vertikal seharusnya 5,3 m, akan tetapi praktisnya jarak setiap vertikal dapat 5,0. Lokasi pengukuran vertikal pertama adalah 2,5 m dan vertikal kedua  $5 + 2,5 = 7,5$  m dan seterusnya.

Pada cara EWI kecepatan gerak naik atau turun alat ukur sedimen ditentukan oleh vertikal pada sub penampang yang mempunyai debit aliran pada satuan lebar yang besar. Kecepatan gerak tersebut harus tidak lebih dari 0,40 kecepatan aliran rata-rata.

Konsentrasi rata-ratanya dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\bar{C} = \frac{\sum_1^n W_i}{\sum_1^n U_i} \dots \dots \dots (22)$$

Keterangan :

C = konsentrasi rata-rata (mg/l)

n = jumlah vertikal dari i = 1 – n

W<sub>i</sub> = berat sampel pada vertikal ke i (gr)

U<sub>i</sub> = volume sampel pada vertikal ke i (ltr)

Penerapan cara EWI mempunyai beberapa keuntungan antara lain :

- Tidak selalu diperlukan pengukuran debit aliran sesaat sebelum pengukuran sedimen ini dilaksanakan.
- Waktu dan biaya analisa laboratorium akan lebih hemat dari cara yang lain

b. Metode pengukuran konsentrasi sedimen “ditempat”

Metode pengukuran konsentrasi sedimen dapat dilakukan secara langsung ditempat pengukuran (*in situ*), misalnya dengan “*nuclear gauge*” atau dengan *photo electric turbidity meter*.

Berdasarkan data sekunder yang diperoleh, pengambilan sampel sedimen dilapangan dilakukan dengan menggunakan metode EDI. Dimana sampel tersebut diuji di labolatorium.

#### **F. Pengolahan data sedimen melayang**

Untuk menghitung sedimen melayang, digunakan metode antara lain :

- a. Metode perhitungan debit sedimen melayang berdasarkan pengukuran sesaat.

Pada periode waktu tertentu debit muatan sedimen dapat didefenisikan sebagai hasil perkalian konsentrasi dan debitnya yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_{si} = k \cdot C_s \cdot Q_i \dots\dots\dots(23)$$

Dimana :

$Q_{si}$  = debit sedimen melayang (ton/tahun)

$Q_i$  = debit air ( $m^3/det$ )

$C_s$  = konsentrasi sedimen beban melayang (gr/liter)

$K$  = faktor konversi

Persamaan 23 dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Q_{sm} = 60 \times 60 \times 24 \times C \times Q \dots\dots\dots(24)$$



$$Q_{sm} = 86400 \times C \times Q \dots\dots\dots(25)$$

Dimana :

$Q_{sm}$  = debit sedimen melayang (ton/year)

$Q$  = debit air ( $m^3/det$ )

$C_s$  = konsentrasi sedimen beban melayang (gr/liter)

Umumnya untuk perhitungan debit sedimen melayang pengukuran perasamaan 25 ditulis sebagai berikut :

$$Q_{sm} = 0,0864 \times C_s \times Q_w \dots\dots\dots(26)$$

Dimana :

$Q_{sm}$  = debit sedimen melayang (ton/year)

$Q_w$  = debit air ( $m^3/det$ )

$C_s$  = konsentrasi sedimen melayang (mg/liter)

Kadar konsentrasi  $C_s$  dapat diperoleh dengan persamaan :

$$C_s = \frac{W_s}{V_w} \dots\dots\dots(27)$$

Dimana :

$C_s$  = konsentrasi sedimen beban melayang (mg/ltr)

$W_s$  = berat kadar lumpur (mg)

$V_w$  = volume air (litr)

- b. Metode perhitungan debit sedimen melayang berdasarkan lengkung debit sedimen.

Lengkung sedimen melayang adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara konsentrasi sedimen dengan debit atau hubungan antara debit sesaat dengan debit. Untuk membuat lengkung sedimen melayang dapat dilakukan menurut tahap-tahap berikut:

Pengumpulan data konsentasi sedimen hasil analisa laboratorium beserta debitnya.

- a. Hitung debit sedimen dari setiap besaran konsentrasi.
- b. Gambarkan diatas kertas logaritmik data debit sedimen dan data debit airsungai.
- c. Hitung persamaan lengkung dengan persamaan

$$Q_{sm_{hit}} = a (Q_w)^b \dots\dots\dots(28)$$

Dimana :

$Q_{sm_{hit}}$  = debit sedimen melayang (ton/hari)

$Q_w$  = debit air ( $m^3/det$ )

a = konstanta

b = konstanta

Persamaan tersebut merupakan persamaan eksponensial yang dapat diubah menjadi persamaan linier sebagai berikut:

$$Q_{sm_{hit}} = \log m + n \log Q_w \dots \dots \dots (29)$$

Apabila  $Q_{sm_{hit}} = x$ ,  $\log m = a$  dan  $n \log Q_w = bY$ , maka persamaan linier tersebut dapat diubah menjadi:

$$x = a + bY \dots \dots \dots (30)$$

untuk menghitung nilai konstanta a dan b digunakan persamaan sebagai berikut:

$$b = \frac{n \cdot \sum xi \cdot yi - (\sum xi) \cdot (\sum yi)}{n \cdot \sum yi^2 - (\sum yi)^2} \dots \dots \dots (31)$$

$$\log a = \frac{\sum xi}{n} - \frac{b \cdot \sum xi}{n} \dots \dots \dots (32)$$

Keterangan :

$X_i$  = data x yang ke i

$Y_i$  = data Y yang ke i

i = 1,2,3.....n

n = banyaknya data

Hubungan antara debit air ( $Q_w$ ) dan debit sedimen melayang ( $Q_{sm_{hit}}$ ) pada persamaan 28 dapat dinyatakan bahwa koefisien korelasi

yang secara matematis menggambarkan penyebaran titik sekitar persamaan itu. Koefisien korelasi dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut :

$$R = \frac{\sum(x_i - \bar{X}).(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{X})^2. \sum(y_i - \bar{Y})^2}} \dots\dots\dots(33)$$

Dimana :

R = koefisien korelasi

c. Metode perhitungan debit sedimen melayang berdasarkan kurva frekuensi lama aliran.

Kurva frekuensi lama aliran (*flow duration curves*) dapat digunakan bersama sama dengan lengkung debit sedimen melayang. Metode ini berdasarkan data debit rata-rata pada pertambahan seri waktu (*series of duration increments*) tertentu dan gunakan data tersebut bersama sama oleh lengkung debit sedimen untuk menghitung konsentrasi sedimen atau debit sedimen rata-rata tahunan

### **G. Pengukuran sedimen dasar (*bed load*)**

Metode pengukuran muatan sedimen dasar dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain :

#### 1. Pengukuran langsung

Dilakukan dengan cara mengambil sampel di sungai secara langsung (dilokasi pos duga air) dengan menggunakan alat ukur muatan sedimen dasar yang terbagi atas :

- a. Tipe basket
- b. Tipe perbedaan tekanan
- c. Tipe PAN
- d. Tipe pit atau slot

## 2. Pengukuran tidak langsung

Dilakukan dengan cara pemetaan endapan waduk secara berkala (repetitive survey). Pemetaan dapat dilakukan dengan teknik perahu bergerak dan (*in situ echo sounding*).

## 3. Perkiraan dengan menggunakan rumus empiris

Beberapa persamaan yang digunakan untuk memperkirakan muatan sedimen dasar telah dikembangkan dengan melalui penyelidikan di laboratorium berskala kecil. Persamaan-persamaan tersebut antara lain:

### a. Persamaan Meyer Peter

Perhitungan beban dasar (*bed load*) digunakan persamaan yang telah disederhanakan oleh Meyer Peter sebagai berikut:

$$\frac{q^{2/3}}{D} - 9,27 \left(\frac{Y_s - Y}{Y}\right)^{10/9} = 0,462 \frac{|Y_s - Y|^{1/3}}{Y^{1/3}/D} \times \left(\frac{Y_s - Y}{Y_s} \times q_b\right)^{2/3} \dots\dots\dots(34)$$

Keterangan :

$q$  = debit aliran perunit lebar ( $m^3/det$ )

$q_b$  = debit muatan sedimen dasar ( $kg/det/m$ )

$Y$  = berat jenis (*specific gravity*) dari air ( $1,00 \text{ ton}/m^3$ )

$Y_s$  = berat jenis partikel muatan sedimen dasar (umumnya bervariasi antara  $2,6$  sampai  $2,70 \text{ ton}/m^3$ )

$D$  = diameter butiran (m)

$S$  = kemiringan garis energi (m/m)

Persamaan 2.34 dapat juga ditulis sebagai :

$$\frac{Y.R.(n.n)^{3/2}S}{(Y_S-Y).D_{50}} = 0,467 + 0,25 \left(\frac{Y}{g}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{\Gamma_S-\Gamma}{\Gamma_S}\right)^{2/3} \cdot q_b^{2/3} \cdot \frac{1}{(Y_S-Y)} D_{50} \dots \dots \dots (35)$$

Keterangan :

$\Gamma_S - \Gamma$  = kerapatan (*density*) cairan dan partikel ( $\text{kg/m}^3$ )

$D_{50}$  = ukuran median diameter butir (m)

$Y$  = berat jenis (*specific gravity*) dari air ( $1,00 \text{ ton/m}^3$ )

$g$  = kecepatan gravitasi =  $9,81 \text{ m/det}^2$

$Y_s$  = berat jenis partikel muatan sedimen dasar (umumnya bervariasi antara 2,6 sampai  $2,70 \text{ ton/m}^3$ )

$R$  = jari-jari hidlis = kedalaman rata-rata (m)

$n^1$  = koefisien kekerasan untuk dasar rata

$n$  = koefisien kekasaran aktual

apabila intensitas aliran dihitung dengan rumus

$$\Psi = \frac{\Gamma_S-\Gamma}{\Gamma} \times \frac{D_{50}}{S\left(\frac{n^1}{n}\right)^{3/2}R} \dots \dots \dots (36)$$

Dan intensitas angkutan sediman dasar :

$$\Phi = \frac{q_b}{Y_s} \left(\frac{\Gamma}{\Gamma_S-\Gamma} \times \frac{1}{gD^3}\right)^{1/2} \dots \dots \dots (37)$$

Dengan:  $\frac{\Gamma}{\Gamma_S-\Gamma} = \frac{Y}{Y_S-Y} \dots \dots \dots (38)$

Maka kombinasi persamaan 2.36, 2.37, 2.38 :

$$\Phi = \left(\frac{4}{\Psi} - 0,188\right)^{3/2} \dots \dots \dots (39)$$

Sehingga diperoleh muatan sedimen dasar per unit:

$$\Phi = \frac{qb}{Y_s} \left( \frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} \times \frac{1}{gD^{50^3}} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(40)$$

Debit muatan sedimen dasar untuk seluruh lebar dasar aliran adalah:

$$Q_b = qb \times B \dots\dots\dots(41)$$

Keterangan :

$Q_b$  = debit muatan sedimen dasar (kg/det)

$B$  = lebar dasar (m)

#### b. Persamaan Einstein

Untuk perkiraan besarnya sedimen dasar, Einstein melakukan pendekatan berdasarkan fungsi daripada :

$$\Phi = f(\Psi) \dots\dots\dots(42)$$

Keterangan :

$\Phi$  = intensitas muatan sedimen dasar

$f(\Psi)$  = intensitas aliran

$$\Phi = \frac{qb}{Y_s} \left( \frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} \times \frac{1}{gD^3} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(43)$$

$$f(\Psi) = \frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} \times \frac{D}{S.R} \dots\dots\dots(44)$$

keterangan :

$R'$  adalah jari-jari hidrolis yang menampung muatan sedimen dasar.

$$R' = R \left(\frac{n'}{n}\right)^{2/3} \dots\dots\dots(45)$$

Dari pendekatan Enstein:

$$\Psi = \frac{\Gamma^S - \Gamma_X \frac{D_{35}}{R \left(\frac{n'}{n}\right)^{3/2}}}{\Gamma} \dots\dots\dots(46)$$

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

$$\Phi = \frac{qb}{\Gamma_s} \left( \frac{\Gamma_X}{\Gamma^S - \Gamma} \frac{1}{g D_{35}^3} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(47)$$

Laju muatan sedimen seluruh lebar dasar adalah :

$$Q_b = q_b \times B \dots\dots\dots(48)$$

### c. Persamaan Mayer Petter Muller

Metode M-P-M ini menggunakan data yang diambil dari suatu pengukuran pada satu penampang basah, kedalaman air rata-rata, kecepatan rata-rata, kemiringan dasar sungai dan diameter butiran sedimen dasar (*bed load*), dimana rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$\frac{\gamma_w R h (k/k)^{3/2} S_f}{d \cdot (\gamma_s - \gamma_w)} - 0,047 = 0,25 \sqrt[3]{\rho} \frac{(q_s)^{3/2}}{d \cdot (\gamma_s - \gamma_w)} \dots\dots\dots(49)$$

$$q_s = q_g s \frac{\gamma_s}{\gamma_s - \gamma_w} \dots\dots\dots(30)$$

Dimana :

$$k/k = I$$

$$G_s = B \cdot G_s \text{ (kg/m.sec)}$$

$$\sqrt[3]{\rho} = \frac{\gamma_w}{g}$$



$B$  = lebar penampang sungai (m)

$d$  = diameter butiran (dm) =  $D_{90}$  = 90% lolos dalam percobaan saringan

$S'$  = kemiringan dasa sungai

$g$  = gaya grafitasi ( $m/det^2$ )

$R_h$  = radius hidrolik (m)

$q_s$  = berat *bed load* kering udara tiap satuan lebar tiap satuan waktu  
(kg/m.sec)

$q_s$  = berat sedimen padat dalam air tiap satuan lebar tiap satuan waktu  
(t/m.sec)

$\gamma_s$  = berat jenis sedimen

$\gamma_w$  = berat jenis air

$G_s$  = besarnya sedimen dasar pertahun (ton/thn)

#### d. Persamaan Duboys

Banyak formula yang dapat digunakan untuk melakukan prediksi transpor sedimen, diantaranya adalah persamaan Duboys sebagai berikut :

$$q_s = \Psi_D \cdot \tau_o \cdot (\tau_o - \tau_c) \dots\dots\dots(31)$$

$$\tau_o = \gamma d S \dots\dots\dots(32)$$

dimana :

$q_s$  = laju transpor material dasar per satuan lebar sungai (kg/s/m)

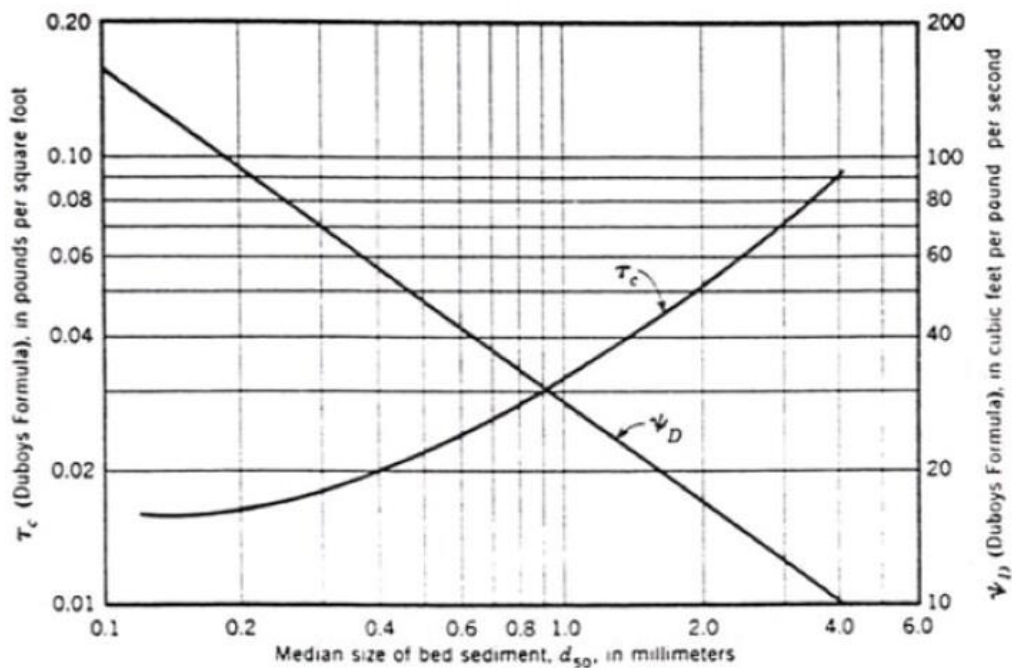
$\Psi_D$  = parameter dari fungsi ukuran partikel ( $m^3/kg/s$ )

$\tau_o$  = tegangan geser dasar ( $kg/m^2$ )

$\tau_c$  = tegangan tarik kritis ( $\text{kg/m}^2$ )

S = kemiringan

Untuk nilai  $\Psi_D$  dan tegangan tarik kritis yang digunakan pada persamaan Duboys ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik nilai  $\Psi_D$  dan  $\tau_c$  yang digunakan persamaan Duboys (Ponce, 1989)

#### H. Pengolahan data sedimen dasar (*bed load*)

Pada sub bab diatas telah dijelaskan pengukuran muatan sedimen dasar secara langsung di lokasi penyelidikan dan telah dijelaskan perkiraan muatan sedimen dasar berdasarkan rumus-rumus empiris aliran sungai di pos duga air pada tinggi muka air tertentu, sehingga diperoleh debit sedimen muatan dasar sesaat ( $\text{kg/det}$ ). Apabila jumlah pengukuran telah mencukupi, maka dapat dibuat lengkung debit sedimen dasarnya. Pengukuran langsung dilakukan pada saat aliran rendah

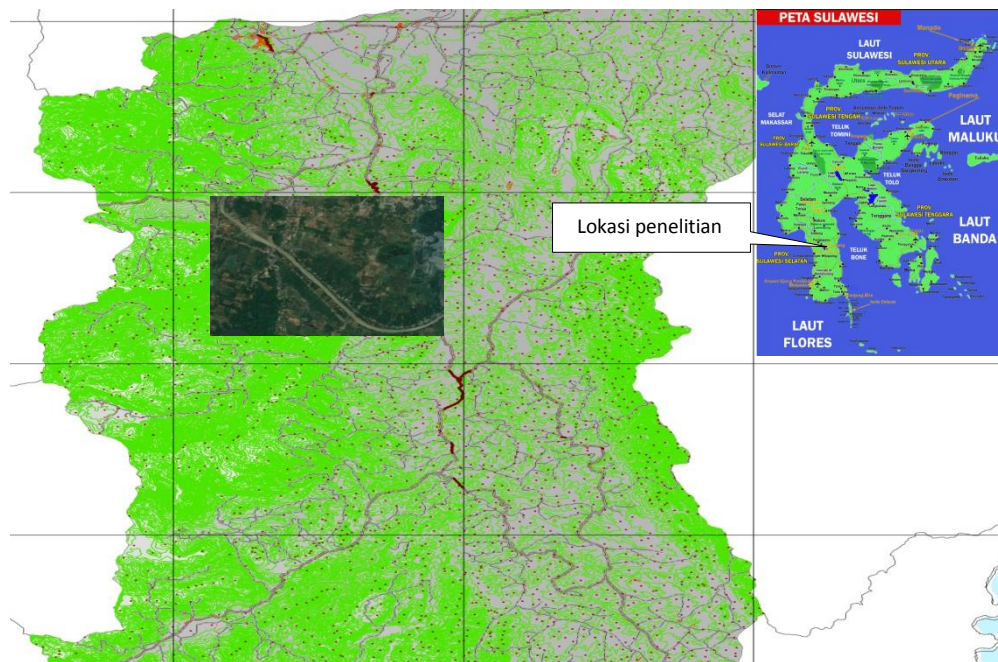
## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **A. Lokasi Penelitian**

Penelitian ini mengambil lokasi di bagian tengah dan bagian hilir sungai Walanae. Sungai Walanae berhulu di pegunungan Bonto Tangai – Bohonglangi di perbatasan Kabupaten Bone dengan Kabupaten Gowa serta Kabupaten Maros. Sungai ini kemudian menuju Aluvial Danau Tempe dan berbelok ke timur hingga bermuara keteluk Bone di Kabupaten Bone. Namun di wilayah hilir, sungai Walanae lebih dikenal nama sungai Cenranae.

Secara geografis Daerah Aliran Sungai Walanae-cenranae terletak pada  $3^{\circ}59'03''$  –  $5^{\circ}8'45''$  LS dan  $119^{\circ}47'09''$  –  $120^{\circ}47'03''$  BT dengan total panjang sungai 864 km, Wilayah sungai Walanae-Cenranae memiliki 39 DAS, dimana Daerah Aliran Sungai utamanya yaitu DAS Bila Walanae ( 7,770 km<sup>2</sup>). Sedangkan Sub DAS Walanae-Cenranae ada 7 yaitu, Sub DAS Batu Puteh, Malanroe, Mario, Minlareng, Sanrego, dan Walanae.



Gambar 8. Lokasi Penelitian di Sungai Walanae

## B. Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan selama 6 (enam) bulan yaitu dari Desember 2017 sampai pada bulan Mei 2018. Dimana pada bulan pertama dan kedua melakukan pengurusan administrasi, pada bulan ketiga adalah studi literatur dan pengumpulan data, selanjutnya pada bulan keempat dan kelima yaitu analisis data, dan pada bulan keenam adalah proses penyelesaian penelitian.

## C. Sumber Data

### 1. Sumber Data

Penelitian ini menggunakan 2 (dua) sumber data antara lain sebagai berikut:

#### a) Data Primer

Adapun data yang diambil antara lain :

1. Pengukuran penampang sungai pada bagian tengah dan bagian hilir sungai Walanae.
2. Pengambilan sampel sedimen, dimana sampel sedimen yang diambil adalah sedimen dasar.

b) Data sekunder

Adapun data yang diambil antara lain :

1. Peta topografi dan peta DAS
2. Data sedimen (data kadar lumpur)
3. Data debit sungai (QW)
4. Data tinggi muka air (H)

**D. Prosedur Penelitian**

Adapun prosedur penelitian dilakukan antara lain :

- a. Pengambilan sample dilapangan, tepatnya di Sungai Walanae pada bagian tengah sungai dan bagian hilir sungai.
- b. Setelah itu sample tanah yang telah diambil dikeringkan. Untuk percobaan analisa saringan maupun berat jenis
- c. Analisa saringan dimaksudkan untuk menentukan jenis material sedimen berdasarkan butiran.

- d. Dari pengujian ini didapatkan jumlah dan distribusi ukuran sedimen dengan menggunakan saringan yang sesuai dengan standar ASTM D 422.
- e. Pengujian berat jenis sedimen dilakukan berdasarkan SNI 1964: 2008. Standar ini menetapkan prosedur uji untuk menentukan berat jenis tanah lolos saringan yang diameter 0,425 mm (No.40).
- f. Setelah mendapatkan sampel yang lolos saringan No. 40, sampel yang telah dilarutkan tersebut dimasukkan ke dalam wadah (pan), setelah itu di oven selama 24 jam.
- g. Setelah sampel dioven selama 24 jam, sampel siap untuk diambil datanya. Selanjutnya, untuk penentuan berat jenis.
- h. Pada data yang telah diperoleh dari laboratorium, maka perhitungan sedimen dasar sudah dapat diolah, sedangkan untuk perhitungan sedimen melayang dapat dihitung pula dengan menggunakan data kadar lumpur.

## **E. Teknik Analisa Data**

### **1. Analisis Sedimen**

- a. Pengolahan data sedimen melayang

Untuk menghitung sedimen melayang, digunakan metode antara lain, metode perhitungan debit sedimen melayang berdasarkan pengukuran sesaat. Debit muatan sedimen dapat didefinisikan sebagai hasil perkalian konsentrasi dan debitnya yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Q_{si} = k \cdot C_s \cdot Q_i$$

Persamaan diatas dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Q_{sm} = 60 \times 60 \times 24 \times C \times Q$$

$$Q_{sm} = 86400 \times C \times Q$$

$$Q_{sm} = 0,0864 \times C_s \times Q_w$$

$$C_s = \frac{W_s}{V_w}$$

Metode perhitungan debit sedimen melayang berdasarkan lengkung debit sedimen. Untuk membuat lengkung sedimen melayang dapat dilakukan menurut tahap-tahap berikut:

- d. Hitung debit sedimen dari setiap besaran konsentrasi.
- e. Gambarkan diatas kertas logaritmik data debit sedimen dan data debit airsungai.
- f. Hitung persamaan lengkung dengan persamaan.

$$Q_{sm_{hit}} = a (Q_w)^b$$

Persamaan tersebut merupakan persamaan eksponensial yang dapat diubah menjadi persamaan linier sebagai berikut:

$$Q_{sm_{hit}} = \log m + n \log Q_w$$

Apabila  $Q_{sm_{hit}} = x$ ,  $\log m = a$  dan  $n \log Q_w = bY$ , maka persamaan linier tersebut dapat diubah menjadi:

$$x = a + bY$$

untuk menghitung nilai konstanta  $a$  dan  $b$  digunakan persamaan sebagai berikut:

$$b = \frac{n \cdot \sum xi \cdot yi - (\sum xi) \cdot (\sum yi)}{n \cdot \sum yi^2 - (\sum yi)^2}$$

$$\log a = \frac{\sum xi}{n} - \frac{b \cdot \sum xi}{n}$$

Hubungan antara debit air ( $Q_w$ ) dan debit sedimen melayang ( $Q_{sm_{hit}}$ ) Koefisien korelasi dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut :

$$R = \frac{\sum(xi - \bar{X}) \cdot (Yi - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(xi - \bar{X})^2 \cdot \sum(Yi - \bar{Y})^2}}$$

#### b. Pengukuran sedimen dasar (*bed load*)

Untuk perhitungan sedimen dasar (*bed load*) dalam penelitian ini menggunakan beberapa metode dimana antara lain metode yang telah disederhanakan M-P-M sebagai berikut :

$$\frac{\gamma_w Rh (k/k)^{3/2} S'}{d \cdot (\gamma_s - \gamma_w)} - 0,047 = 0,25 \sqrt[3]{\rho} \frac{(qs)^{3/2}}{d \cdot (\gamma_s - \gamma_w)}$$

Persamaan Duboys dapat digunakan untuk melakukan prediksi transpor sedimen dimana rumus sebagai berikut :

$$q_s = \Psi_D \cdot \tau_o \cdot (\tau_o - \tau_c)$$

$$\tau_o = \gamma d S$$

Persamaan yang telah disederhanakan oleh Meyer Peter sebagai berikut:



$$\frac{q^{2/3} s}{D} - 9,27 \left(\frac{Y_S - Y}{Y}\right)^{10/9} = 0,462 \frac{|Y_S - Y|^{1/3}}{Y^{1/3}/D} \times \left(\frac{Y_S - Y}{Y_S} \times q_b\right)^{2/3}$$

Persamaan 34 dapat juga ditulis sebagai :

$$\frac{Y.R.(n.n)^{3/2} S}{(Y_S - Y).D_{50}} = 0,467 + 0,25 \left(\frac{Y}{g}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{\Gamma_S - \Gamma}{\Gamma_S}\right)^{2/3} \cdot q_b^{2/3} \cdot \frac{1}{(Y_S - Y)} D_{50}$$

apabila intensitas aliran dihitung dengan rumus:

$$\Psi = \frac{\Gamma_S - \Gamma}{\Gamma} \times \frac{D_{50}}{S \left(\frac{n'}{n}\right)^{3/2} R} \quad \text{Dan intensitas angkutan sedimen dasar :}$$

$$\Phi = \frac{q_b}{Y_S} \left(\frac{\Gamma}{\Gamma_S - \Gamma} \times \frac{1}{g D^3}\right)^{1/2} \quad \text{Dengan : } \frac{\Gamma}{\Gamma_S - \Gamma} = \frac{Y}{Y_S - Y}$$

Debit muatan sedimen dasar untuk seluruh lebar dasar aliran adalah:

$$Q_b = q_b \times B$$

Untuk perkiraan besarnya sedimen dasar, Einstein melakukan pendekatan :

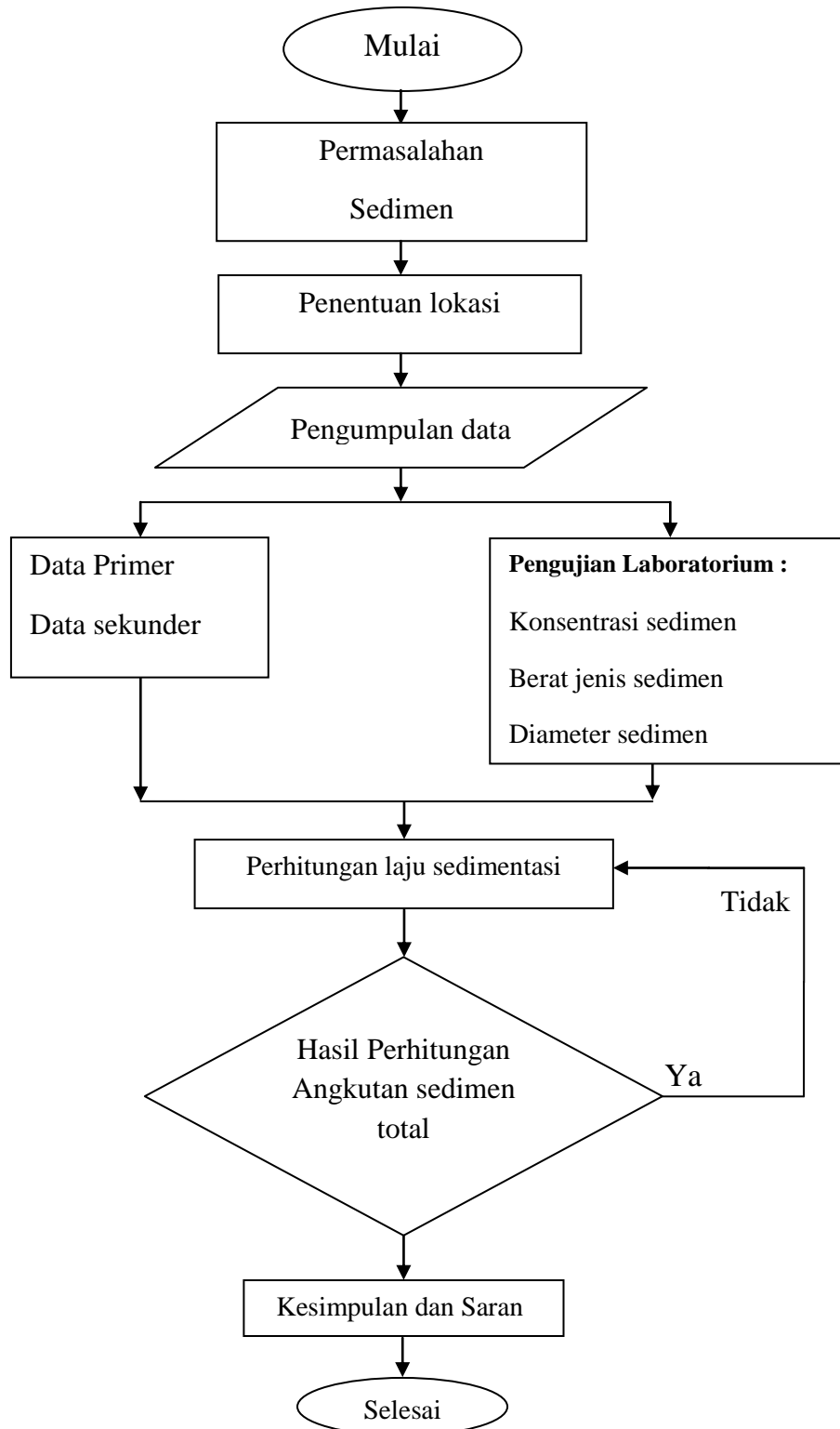
$$\Psi = \frac{\Gamma_S - \Gamma}{\Gamma} \times \frac{D_{35}}{R \left(\frac{n'}{n}\right)^{3/2} I}$$

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

$$\Phi = \frac{q_b}{Y_S} \left(\frac{\Gamma}{\Gamma_S - \Gamma} \times \frac{1}{g D_{35}^3}\right)^{1/2}$$

Laju muatan sedimen seluruh lebar dasar adalah :

$$Q_b = q_b \times B$$



Gambar 9. Flow Chart

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Penelitian

##### 1. Data Sedimen Melayang

Data sedimen melayang pada penelitian ini diperoleh dari data-data sekunder, dimana data-datanya yaitu :

- a. Data debit sungai Walanae-Cenranae
- b. Data sedimen melayang (kadar lumpur)

##### 2. Data Sedimen Dasar

Data sedimen dasar pada penelitian ini diperoleh dari data primer, dimana data diambil langsung dari lapangan dan data yang diambil adalah kecepatan aliran sungai dan sampel sedimen dasar, dari sampel yang sudah diambil, diuji di laboratorium. Adapun hasil uji laboratorium :

Tabel 3. Hasil uji kadar air

	Nomor Tin Box	A1	A2	B1	B2
A	Berat Tin Box	14	13	12	12
B	Berat Tin Box + Tanah Basah	131	134	111	113
C	Berat Tin Box + Tanah Kering	90	90	98	95
D	Berat Air = (B - C)	41	44	13	18
E	Berat Tanah Kering = (C - A)	76	77	86	83
F	Kadar Air Tanah (w) = (D/E)*100%	53,947	57,143	15,116	21,687
G	Rata-rata	131,6281914			

Tabel 4. Hasil uji berat jenis

Nomor Percobaan	A1	A2	B1	B2
Berat Labu, $W_1$ (gram)	133	133	133	133
Berat Labu + air, $W_2$ (gram)	336	336	336	336
Berat Labu + air + tanah, $W_3$ (gram)	419	416	437	433
Berat tanah kering, $W_s$ (gram)	240	238	198	193
Temperatur, $^{\circ}\text{C}$	27	26	27	26
Faktor koreksi, $\alpha$	0,9983	0,9986	0,9983	0,9986
Berat Jenis, Gs	1,52609	1,50419	2,03781	2,00756
Berat Jenis Rata-rata, Gs	1,768913526			

Tabel 5. Hasil uji analisa saringan

Saringan No.	Diameter (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Kumulatif (gram)	Persen (%)	
				Tertahan	Lolos
4	4,75	0	0	0	100
8	2,36	29	29	2,90	97,1
14	1,4	41	70	7,00	93
16	1,18	60	130	13,00	87
40	0,425	169	299	29,90	70,1
50	0,3	170	469	46,90	53,1
100	0,15	27	496	49,60	50,4
200	0,075	4	500	100,00	0
Pan	-	0	500	100,00	0

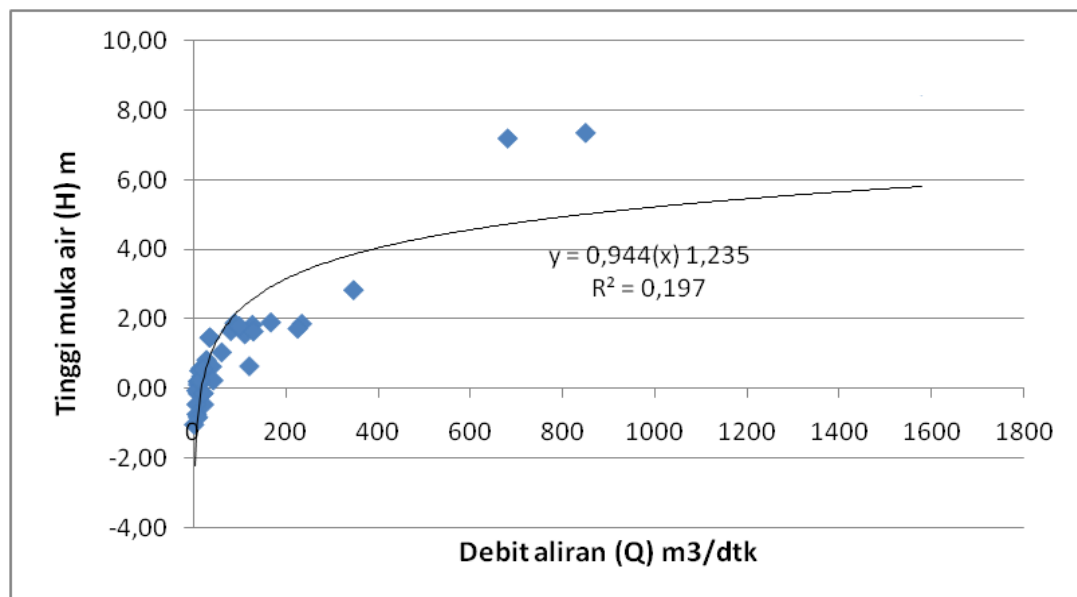
## B. Analisis Data Hasil Penelitian

### 1. Perhitungan sedimen melayang (*suspended load*)

Dalam menganalisa sedimen melayang atau *suspended load*, perhitungan didasarkan atas data-data sekunder, Data-data sekunder yang diperoleh tersebut, yang selanjutnya menjadi dasar dalam pengolahan data untuk mendapatkan debit sedimen melayang. Sebelum membuat lengkung sedimen, terlebih dahulu dibuat kurva debit air sungai yang menunjukkan hubungan antara debit (Q) dengan tinggi muka air (H).

#### a. Lengkung debit air sungai

Berdasarkan data tinggi muka air (H) dan debit air sungai (Q) pada lampiran 1 dapat dibuat kurva debit sebelum menggunakan persamaan kuadrat terkecil (*least square*) seperti pada Gambar 10.



Gambar 10 Grafik Lengkung Debit

Dengan menggunakan metode logaritmik dapat dibuat kurva debit dengan persamaan umum hubungan antara tinggi muka air dan debit adalah :  $Q = K (H-H_0)^n$ .

Harga  $H_0$  ditentukan dengan persamaan :

$$H_0 = \frac{H_1 - H_3 - H_2^2}{H_1 + H_3 - 2 \cdot H_2}$$

Dari data tinggi muka air pada lampiran 1 diperoleh :

$$H_1 = -0,07 \qquad Q_1 = 3,04$$

$$H_3 = 8,70 \qquad Q_3 = 1578,21$$

Sehingga :

$$Q_2 = (Q_1 \times Q_3)^{0,5} = (3,04 \times 1578,21)^{0,5} = 69,26 \text{ m}$$

$$H_2 = (-0,07 \times 8,70)^{0,5} = -0,78$$

$$\text{Jadi, } H_0 = \frac{-0,07 \times 8,70 - (-0,78)^2}{-0,07 + 8,70 - 2 \times (-0,78)} = -0,1195 \text{ m}$$

Harga konstanta  $K$  dan  $n$  ditentukan dengan persamaan :

$$(\sum y) - m \log K - n (\sum x) = 0$$

$$(\sum xy) - (\sum x) \log K - n (\sum x^2) = 0$$

Dimana :

$$(\sum y) = \text{jumlah harga log } Q$$

$$(\sum x) = \text{jumlah harga log } (H-H_0)$$

$(\sum x^2)$  = jumlah harga kuadrat dari (x)

$(\sum xy)$  = jumlah harga (x) dikalikan (y)

m = jumlah data

Perhitungan K dan n data pengukuran debit dapat dilihat pada lampiran 2.

Dari tabel perhitungan tersebut diperoleh :

$$67,06 - 41 \log K - 5,767 n = 0$$

$$0,757 - 5,767 \log K - 14,085 n = 0$$

Dari kedua persamaan tersebut diperoleh nilai :

$$K = 1,728$$

$$n = 0,654$$

Dengan nilai  $H_0$ , K, dan n tersebut maka diperoleh persamaan lengkung debit :  $Q = 1,728 (H - (-0,1195))^{0,654}$

## b. Lengkung Debit Sedimen Melayang

### 1. Perhitungan konsentrasi muatan sedimen melayang

Dari data sekunder lampiran 3 menunjukkan hasil contoh air di lapangan yang dianalisa di laboratorium, diperoleh harga konsentrasi sedimen ( $C_s$ ) berdasarkan persamaan 2.27 yaitu :

$$C_s = \frac{W_s}{V_w}$$

Dimana :

$C_s$  = Konsentrasi sedimen

$W_s$  = Berat kadar lumpur (mg)

$V_w$  = Volume air (ltr)

Contoh : (data pada tanggal 03/05/2001)

$$C_s (1) = \frac{26,60}{250} = 0,1064 \text{ mg/ltr}$$

$$C_s (2) = \frac{26,65}{250} = 0,1066 \text{ mg/ltr}$$

$$C_s (3) = \frac{25,20}{250} = 0,1008 \text{ mg/ltr}$$

$$C_s = \frac{0,1064+0,1066+0,1008}{3} = 0,2466 \text{ mg/ltr}$$

## 2. Perhitungan debit sedimen melayang

Dari hasil perhitungan konsentrasi sedimen ( $C_s$ ) pada lampiran dan data debit air ( $Q_w$ ) pada lampiran 1, maka besarnya debit sedimen melayang harian ( $Q_{sm}$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{sm} = 0,0864 \cdot C_s \cdot Q_w$$

Dimana :

$Q_{sm}$  = Debit sedimen melayang (ton/hari)

$Q_w$  = Debit air ( $m^3$ /det)



$C_s$  = Konsentrasi sedimen melayang (mg/ltr)

Perhitungan : (data tanggal 03/05/2001,19/07/2001,03/05/2002)

$$Q_{sm} (1) = 0,0864 \times 0,2466 \times 62,67 = 13,3527 \text{ ton/hari}$$

$$Q_{sm} (2) = 0,0864 \times 0,1367 \times 11,42 = 1,3488 \text{ ton/hari}$$

$$Q_{sm} (3) = 0,0864 \times 1,1408 \times 682,02 = 672,2338 \text{ ton/hari}$$

Perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada lampiran 4. Data pengukuran debit air dan hasil analisa sedimen melayang.

### 3. Perhitungan debit sedimen melayang berdasarkan lengkung sedimen

Untuk menghitung besarnya lengkung sedimen melayang berdasarkan data pengukuran kadar lumpur dan besarnya debit sungai dapat dihitung dengan persamaan 28 sebagai berikut:

$$Q_{sm_{hit}} = a (Q_w)^b$$

Dimana :

$$Q_{sm_{hit}} = \text{debit sedimen melayang (ton/hari)}$$

$$Q_w = \text{debit air (m}^3/\text{dtk)}$$

a , b = konstanta

Dimana konstanta a dan b dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 31 dan persamaan 32 sebagai berikut :

$$b = \frac{n \cdot \sum X_i \cdot Y_i - (\sum X_i) \cdot (\sum Y_i)}{n \cdot \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2}$$

$$\log a = \frac{\sum X_i}{n} - \frac{b \cdot \sum X_i}{n}$$

Berdasarkan persamaan-persamaan di atas maka dilakukan langkah-langkah perhitungan sebagai berikut :

a. Perhitungan konstanta a dan b

Untuk memperoleh nilai dari konstanta a dan b maka dilakukan perhitungan nilai-nilai dari log  $Q_{sm}$  dan log  $Q_w$  sebagai berikut :

Perhitungan : (data pada tanggal 3 mei 2001)

Diketahui :

$$Q_w : 62,67 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$Q_{sm} : 13,35 \text{ ton/hari}$$

Penyelesaian :

$$\text{Log } Q_{sm} (X_i) = \log 13,35 = 1,125$$

$$\text{Log } Q_w (Y_i) = \log 62,67 = 1,797$$

$$X_i, Y_i = 1,125 \times 1,797 = 2,022$$

$$X_i^2 = (1,125)^2 = 1,266$$

$$Y_i^2 = (1,797)^2 = 3,229$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{19,795}{41} = 0,481$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n} = \frac{67,063}{41} = 1,635$$

$$X_i - \bar{X} = 1,126 - 0,481 = 0,643$$

$$Y_i - \bar{Y} = 1,797 - 1,635 = 0,161$$

$$(X_i - \bar{X}), (Y_i - \bar{Y}) = (0,645) \times (0,162) = 0,1037$$

$$(X_i - \bar{X})^2 = (0,645)^2 = 0,413$$

$$(Y_i - \bar{Y})^2 = (0,162)^2 = 0,026$$

Nilai konstanta b

$$b = \frac{n \cdot \sum X_i \cdot Y_i - (\sum X_i) \cdot (\sum Y_i)}{n \cdot \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2}$$

$$b = \frac{41 \times 50,53 - (19,80) \cdot (67,06)}{41 \cdot 124,37 - (67,06)^2}$$

$$= 1,2355$$

Nilai konstanta a :

$$\begin{aligned} \text{Log } a &= \frac{\sum X_i}{n} - \frac{b \cdot \sum X_i}{n} \\ &= \frac{19,80}{41} - \frac{1,2355 \cdot 19,80}{41} \end{aligned}$$

$$\text{Log } a = -0,1137$$

$$a = 0,9442$$

b. Perhitungan  $Q_{smhit}$

Dari hasil perhitungan konstanta b dan a dengan menggunakan nilai debit air ( $Q_w$ ) yang terdapat pada lampiran 1, maka dapat dihitung nilai  $Q_{smhit}$  sebagai berikut:

$$Q_{smhit} = a (Q_w)^b$$

$$Q_{smhit} (1) = 0,9442 \times (62,67)^{1,2355} = 156,79 \text{ ton/hari}$$

$$Q_{\text{smhit}}(2) = 0,9442 \times (11,42)^{1,2355} = 19,13 \text{ ton/hari}$$

$$Q_{\text{smhit}}(3) = 0,9442 \times (682,02)^{1,2355} = 2993,14 \text{ ton/hari}$$

Perhitungan  $Q_{\text{smhit}}$  selanjutnya dapat dilihat pada lampiran 6.

Untuk mengetahui besarnya penyimpangan/selisih (delta) antara  $Q_{\text{sm}}$  lampiran 4 dengan  $Q_{\text{smhit}}$  lampiran 6 digunakan persamaan sebagai berikut :  $\Delta = \log Q_{\text{sm}} - \log Q_{\text{smhit}}$

$$\Delta(1) = \log . 13,3526 - \log 156,79 = (1,125) - (2,195) = -1,069$$

$$\Delta(2) = \log . 1,3488 - \log 19,13 = (0,129) - (1,282) = -1,152$$

$$\Delta(3) = \log . 672,233 - \log 2993,14 = (2,827) - (3,476) = -0,648$$

Perhitungan delta selanjutnya dapat dilihat pada lampiran 7.

Adapun tingkat hubungan antara debit air ( $Q_w$ ) dan debit sedimen melayang ( $Q_{\text{smhit}}$ ) pada persamaan 28 dapat dinyatakan dengan koefisien korelasi ( $R$ ) yang secara matematis menggambarkan penyebaran titik disekitar persamaan itu. Koefisien korelasi dapat dihitung dengan persamaan 33 sebagai berikut:

$$R = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum(Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Nilai koefisien korelasi diperoleh berdasarkan hasil perhitungan pada tabel lampiran 5 hasil perhitungan  $R$  diuraikan sebagai berikut :

$$R = \frac{18,15}{\sqrt{39,33 \times 14,67}} = 0,1971$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, diperoleh kesimpulan konstanta a,b, dan koefisien korelasi (R), sebagai berikut:

$$X = a + b.Y$$

$$X = 0,9442 + 1,2355 Y \text{ dengan koefisien korelasi } R = 0,1971$$

c. Perhitungan total debit sedimen melayang dalam satu tahun

Dengan menggunakan data debit aliran harian ( $Q_w$ ) yang terdapat pada lampiran 8, maka dapat dihitung  $Q_{sm}$  dengan persamaan :

$$Q_{sm} = 0,9442 (Q_w)^{1,2355}$$

Perhitungan : (data pada bulan januari 1,2 dan 3)

$$Q_{sm} (1) = 0,9442 (56,20)^{1,2355} = 137,45$$

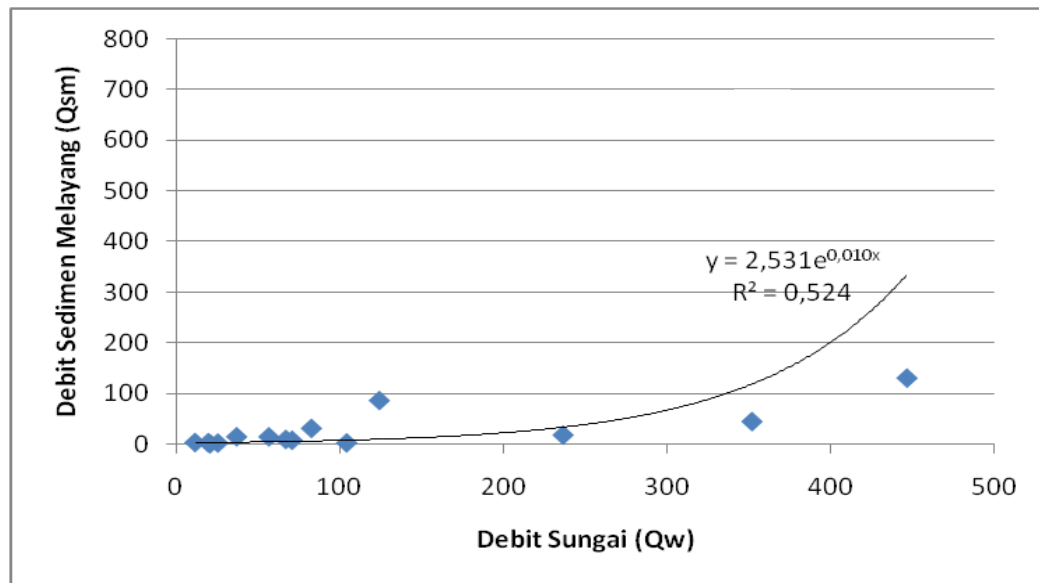
$$Q_{sm} (2) = 0,9442 (105,60)^{1,2355} = 298,75$$

$$Q_{sm} (3) = 0,9442 (206,90)^{1,2355} = 685,78$$

Perhitungan  $Q_{sm}$  selanjutnya dapat dilihat pada lampiran 9.

Jumlah total sedimen melayang ( $Q_{sm}$ ) satu tahun = 11050,7 ton/tahun

Pada perhitungan debit sedimen melayang ( $Q_{sm}$ ) yang diperoleh, dapat di lihat grafik hubungan debit sedimen melayang ( $Q_{sm}$ ) dengan debit sungai ( $Q_w$ ) pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Hub. Debit sungai dengan Debit sedimen melayang

Pada perhitungan debit sedimen melayang ( $Q_{sm}$ ) yang diperoleh dapat dilihat grafik hubungan debit sedimen melayang ( $Q_{sm}$ ) dengan debit sungai ( $Q_w$ ) pada gambar 11. Dari gambar terlihat bahwa debit sungai Walanae cenderung lebih tinggi dan nampak dibandingkan dengan grafik sedimen melayang. Namun karena tingginya debit air sungai tersebut sedimen melayang akan tebahaw dengan cepat dan itulah yang mengakibatkan tingginya volume sedimen melayang pada sungai Walanae pertahunnya.

## 2. Perhitungan Besarnya Angkutan Sedimen Dasar (*Bed Load*)

Perhitungan sedimen dasar dengan pengukuran langsung pada lokasi pengamatan tidak diperoleh debit muatan sedimen dasar, maka perhitungan

disarankan (Soewarno, 1991 : 711) dan standar RI, 1882 yang dalam penelitian ini diambil 20 % terhadap muatan layang sehingga diperoleh perhitungan yang bisa dilihat pada lampiran tabel 10 dan grafik hubungan debit sungai ( $Q_w$ ) dengan debit sedimen dasar ( $Q_{sd}$ ) yang dapat dilihat pada Gambar 12.

### 3. Perhitungan Besarnya Sedimen Dasar (*Bed Load*)

Untuk menghitung besarnya sedimen dasar pada sungai Walanae digunakan data sekunder berupa pengukuran aliran sungai, hasil pengujian laboratorium terhadap material *bed load* dan data penunjang lainnya. Perhitungan sedimen dasar (*bed load*) pada penelitian ini digunakan persamaan Meyer Peter Muller dan tiga pendekatan lainnya. Adapun rumus yang disederhanakan oleh M-P-M sebagai berikut :

$$\frac{\gamma_w Rh (k/k)^{3/2} S'}{d \cdot (\gamma_s - \gamma_w)} - 0,047 = 0,25 \sqrt[3]{\rho} \frac{(qs)^{3/2}}{d \cdot (\gamma_s - \gamma_w)}$$

Perhitungan :

$$A = 53,763 \text{ m}$$

$$V = 1,24 \text{ m/det}$$

$$Q = 66,86 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$H = 0,75 \text{ m}$$

$$S = 0,0025$$

$$P = 62,062 \text{ m}$$

$$R = 0,866$$

$$d_{35} = 1,138$$

$$d_{50} = 0,300$$

$$d_{90} = 0,571$$

$$B = 75,0 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\gamma_s = 1,7689$$

$$\gamma_w = 1,0$$

Maka :

$$\frac{\gamma_w R h (k/k)^{3/2} S'}{d \cdot (\gamma_s - \gamma_w)} - 0,047 = 0,25 \sqrt[3]{\rho} \frac{(qs)^{3/2}}{d \cdot (\gamma_s - \gamma_w)}$$

$$\sqrt[3]{\rho} = \frac{\gamma_w}{g} = \frac{1}{9,81} = (0,102)^{1/3}$$

$$\rho = 0,467 \text{ t/m}^3$$

k/k = diambil = 1

$$\frac{1,0 \cdot (0,866) (1,0)^{\frac{3}{2}} (0,0025)}{0,571 \cdot (1,7689 - 1,0)} - 0,047 = 0,25 (0,467) \frac{(qs)^{3/2}}{(0,571) \cdot (1,7689 - 1,0)}$$

$$\frac{0,2165}{0,0439} - 0,047 = 0,1167 \frac{(qs)^{3/2}}{0,0439}$$

$$4,8846 = 0,0512 (qs)^{3/2}$$

$$qs' = 0,0107$$



$$\begin{aligned}
 Q_s &= B \cdot q_s' \\
 &= 75,00 \cdot (0,0107) \\
 &= 0,8025 \text{ kg/sec} \\
 &= 0,8025 \cdot 10^{-3} \text{ ton/sec}
 \end{aligned}$$

Jadi :

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk satu hari} &= 24 \cdot 3600 \cdot (0,8025 \cdot 10^{-3}) \\
 &= 69,336 \text{ ton/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk satu tahun} &= 69,336 (365) \\
 &= 25.307,64 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk 15 tahun} &= 25.307,64 (15 \text{ tahun}) \\
 &= 37.961,46 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Adapun perhitungan Besarnya Sedimen Dasar (*Bed Load*) berdasarkan persamaan Duboys. Adapun perhitungannya diuraikan sebagai berikut:

$$q_s = \Psi_D \cdot \tau_o (\tau_o - \tau_c)$$

$$\tau_o = \gamma \cdot d \cdot s$$

$$\tau_o = 1,0 \times 0,75 \times 0,0025$$

$$\tau_o = 0,332 \text{ kg/m}^2$$

$$q_s = 70 \times 0,332 (0,332 - 0,02)$$

$$q_s = 7,251 \text{ (kg/s/m)}$$

Jadi besarnya sedimen dasar ( $Q_b$ ) adalah:

$$Q_b = q_s \times B$$

$$= 7,251 \times 75$$

$$= 543,83 \text{ kg/s}$$

Jadi satuan berat (kg) ditransfer ke satuan berat (ton) dan satuan waktu (s) ditransfer ke satuan waktu (hari), maka :

$$Q_b = \frac{543,83}{1000}$$

$$Q_b = 0,5438 \times 3600 \times 24$$

$$Q_b = 46,986 \text{ ton/hari}$$

$$Q_b = 46,986 \text{ ton/hari} \times 365$$

$$Q_b = 17.149,89 \text{ ton/tahun}$$

$$Q_b = 17.149,89 \text{ ton/tahun} \times 15$$

$$Q_b = 25.725,35 \text{ ton}$$

Ada pula perhitungan besar sedimen dasar berdasarkan persamaan

Empiris antara lain :

- a. Perhitungan Besarnya Sedimen Dasar (*Bed Load*) berdasarkan persamaan Meyer Peter

Langkah awal dalam perhitungan *bed load* adalah menentukan koefisien kekasaran namun terlebih dahulu harus menentukan besarnya kecepatan aliran rata-rata. Adapun perhitungannya diuraikan sebagai berikut:

1. Nilai koefisien kekasaran aktual ( $n$ )

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

$$n = \frac{R^{2/3} I^{1/2}}{V}$$

$$n = \frac{0,860^{2/3} 0,0025^{1/2}}{1,24}$$

$$n = 0,0364$$

2. Nilai koefisien kekasaran untuk dasar rata ( $n'$ )

$$n' = \frac{D_{50}^{1/6}}{26}$$

$$n' = \frac{0,571^{1/6}}{26}$$

$$n' = 0,0350$$

3. Nilai intensitas aliran ( $\Psi$ )

$$\Psi = \frac{\Gamma_s - \Gamma}{\Gamma} \times \frac{D_{50}}{R \cdot \left(\frac{n'}{n}\right)^{3/2} I}$$

$$\Psi = \frac{3,14 - 1,00}{1,00} \times \frac{0,300}{0,866 \cdot \left(\frac{0,0350}{0,0364}\right)^{3/2} \cdot 0,0025}$$

$$\Psi = 2,14 \times \frac{0,300}{0,866 \cdot \left(\frac{0,0350}{0,0364}\right)^{3/2} \cdot 0,0025}$$

$$\Psi = 31,4504$$

4. Nilai muatan sedimen dasar ( $q_b$ )

$$\Phi = \frac{q_b}{\Gamma_s} \left( \frac{\Gamma}{\Gamma_s - \Gamma} \times \frac{1}{gD^{50^3}} \right)$$

$$q_b = \frac{\Phi \cdot \Gamma_s}{\frac{\Gamma}{\Gamma_s - \Gamma} \times \frac{1}{gD^{50^3}}}$$

$$\Phi = \left( \frac{4}{\psi} - 0,188 \right)^{3/2}$$

$$\Phi = \left( \frac{4}{31,4504} - 0,188 \right)^{3/2}$$

$$\Phi = 0,00456$$

$$q_b = \frac{0,00456 \cdot 3,14}{\left( \frac{1,00}{3,14 - 1,00} \cdot \frac{1}{9,81 \cdot 0,300^3} \right)}$$

$$q_b = 8,0092 \times 10^{-3} \text{ kg/det/m}$$

Jadi besarnya sedimen dasar ( $Q_b$ ) adalah :

$$Q_b = q_b \times B$$

$$= 8,0092 \times 10^{-3} \times 75,00$$

$$= 0,60069 \text{ kg/s}$$

Jika satuan berat (kg) ditransfer ke satuan berat (ton) dan satuan waktu

(s) ditransfer ke satuan waktu (hari), maka :

$$Q_b = \frac{0,60069}{1000}$$

$$Q_b = 6,0069 \times 10^{-4}$$

$$Q_b = 6,0069 \times 10^{-4} \times 3600 \times 24$$

$$Q_b = 0,0052 \text{ ton/hari}$$

$$Q_b = 0,0052 \text{ ton/hari} \times 365$$

$$Q_b = 18,98 \text{ ton / tahun}$$

$$Q_b = 18,98 \text{ ton / tahun} \times 15$$

$$Q_b = 284,70 \text{ ton}$$

b. Perhitungan sedimen dasar (*bed load*) berdasarkan persamaan Einstein

Penyelesaian :

$$\Psi = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \times \frac{D_{35}}{R \left( \frac{n'}{n} \right)^{3/2} l}$$

$$\Psi = \frac{3,14 - 1,00}{1,00} \times \frac{1,138}{0,860 \cdot \left( \frac{0,0350}{0,0364} \right)^{3/2} \cdot 0,0025}$$

$$\Psi = 2,14 \times \frac{1,138}{0,860 \cdot \left( \frac{0,0350}{0,0364} \right)^{3/2} \cdot 0,0025}$$

$$\Psi = 12,134$$

$$\Phi = \frac{q_b}{\gamma_s} \left( \frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} \times \frac{1}{g D_{35}^3} \right)$$

$$q_b = \frac{\Phi \cdot \gamma_s}{\left( \frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} \cdot \frac{1}{g \cdot D_{35}^3} \right)}$$

$$\Phi = \left( \frac{4}{\Psi} - 0,188 \right)^{3/2}$$

$$\Phi = \left( \frac{4}{12,134} - 0,188 \right)^{3/2}$$

$$\Phi = 0,0533$$

$$q_b = \frac{0,0533 \cdot 3,14}{\left( \frac{1,00}{3,14 - 1,00} \cdot \frac{1}{9,81 \cdot 0,0350^3} \right)}$$

$$q_b = 1,506 \times 10^{-4} \text{ kg/det/m}$$

Jadi besarnya sedimen dasar ( $Q_b$ ) adalah :

$$Q_b = q_b \times B$$

$$= 1,506 \times 10^{-4} \times 75,00$$

$$= 0,011295 \text{ kg/s}$$

Jadi satuan berat (kg) ditransfer ke satuan berat (ton) dan satuan waktu (s) ditransfer ke satuan waktu (hari), maka :

$$Q_b = \frac{0,011295}{1000}$$

$$Q_b = 1,1295 \times 10^{-5} \times 3600 \times 24$$

$$Q_b = 0,0097070 \text{ ton/hari}$$

$$Q_b = 0,0097070 \text{ ton/hari} \times 365$$

$$Q_b = 3,54305 \text{ ton/tahun}$$

$$Q_b = 3,54305 \text{ ton/tahun} \times 15$$

$$Q_b = 53,14575 \text{ ton}$$

Tabel 6. Rekapitulasi Debit sedimen dasar (*bed load*) berdasarkan beberapa pendekatan.

Besar Sedimen Dasar ( $Q_b$ )	Berdasarkan Pendekatan				Berdasarkan Hit. di Lapangan	
	M-P-M	Dubois	M-P	Einstein	Sedimen Dasar ( $Q_b$ )	Sedimen Melayang ( $Q_{sm}$ )
$Q_b$ (ton/hari)	69,336 ton	46,986 ton	0,0052 ton	0,0097 ton		
$Q_b$ (ton/tahun)	25307,64 ton	17149,89 ton	18,98 ton	3,5431 ton	13,788 ton	68,944 ton
$Q_b$ ( dalam 15 tahun)	37961,46 ton	25725,35 ton	284,7 ton	53,1458 ton	206,832 ton	1034,1631 ton

Berdasarkan pada Tabel 6 menunjukkan bahwa pendekatan Mayer peter lah yang mendekati dengan hasil pehitungan di lapangan. Sehingga perhitungan yang cukup efisien digunakan pada Sungai Walanae untuk menghitung sedimen adalah metode Mayer Peter (M-P).

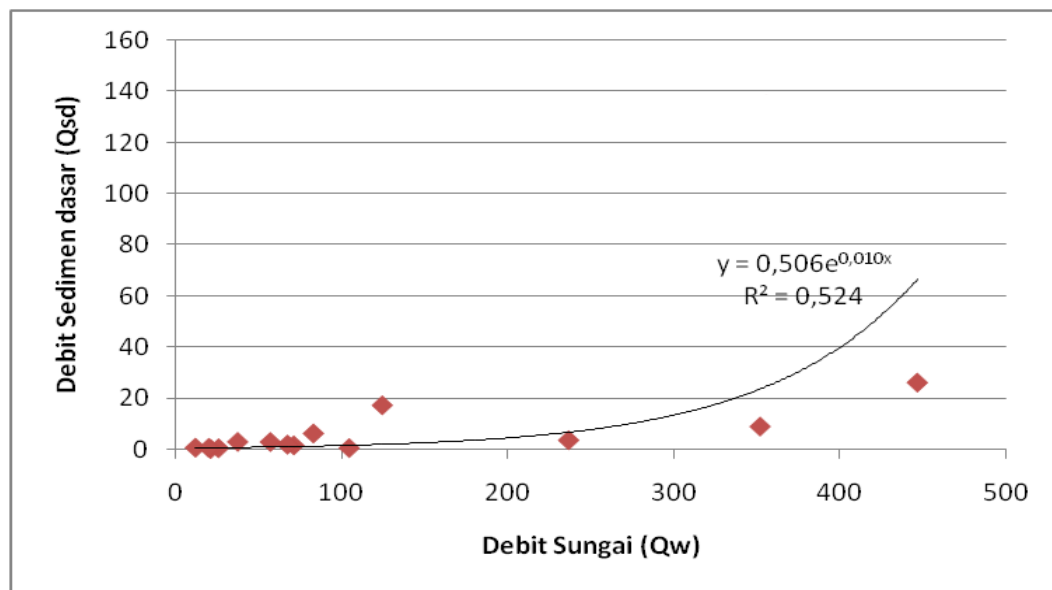
Jadi untuk jumlah angkutan sedimen totalnya adalah :

Angkutan sedimen melayang selama 15 tahun = 1034,2 ton

Angkutan sedimen dasar selama 15 tahun = 284,7 ton

---

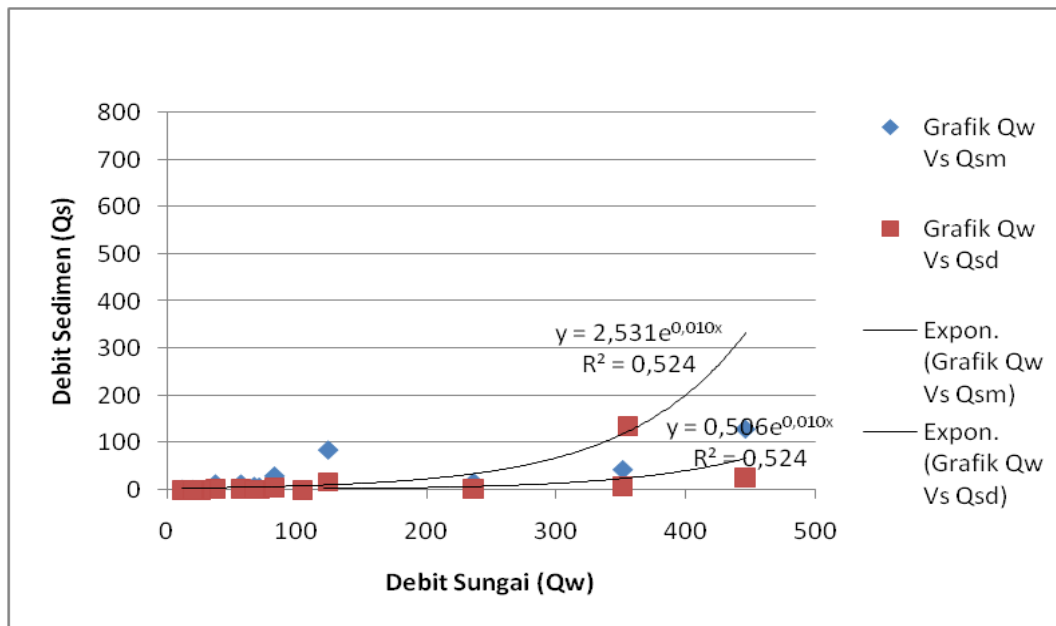
1318,9 ton



Gambar 12. Grafik Hub. Debit sungai dengan Debit sedimen dasar

Pada perhitungan debit sedimen dasar (Qsd) yang diperoleh dapat dilihat grafik hubungan debit sedimen dasar (Qsd) dengan debit sungai (Qw) pada gambar 12. Dari gambar terlihat bahwa debit sungai Walanae

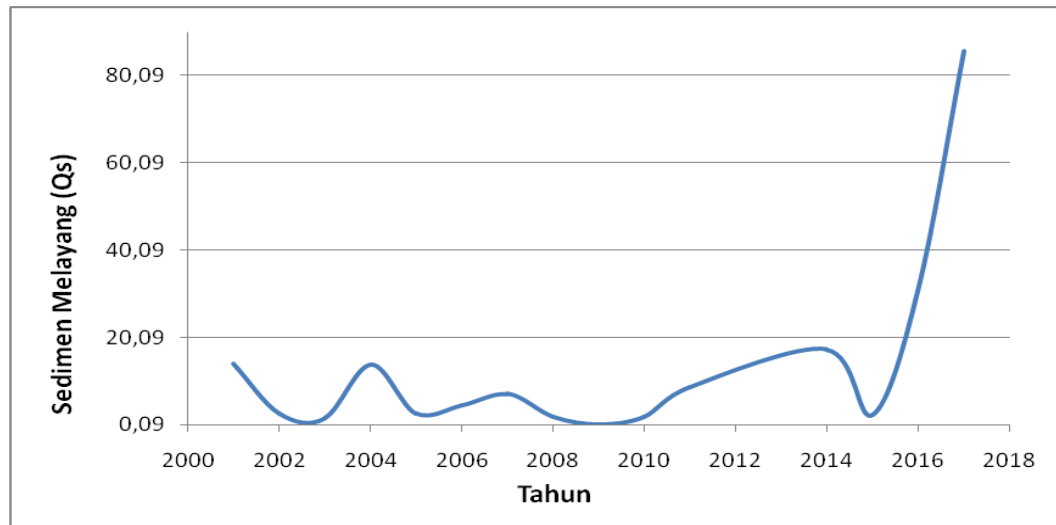
lebih rendah dibandingkan dengan debit sedimen dasar. Karena tingginya debit sedimen dasar mengakibatkan sungai Walanae sering mengalami pendangkalan.



Gambar 13. Grafik Hub. Debit sungai dengan Debit sedimen

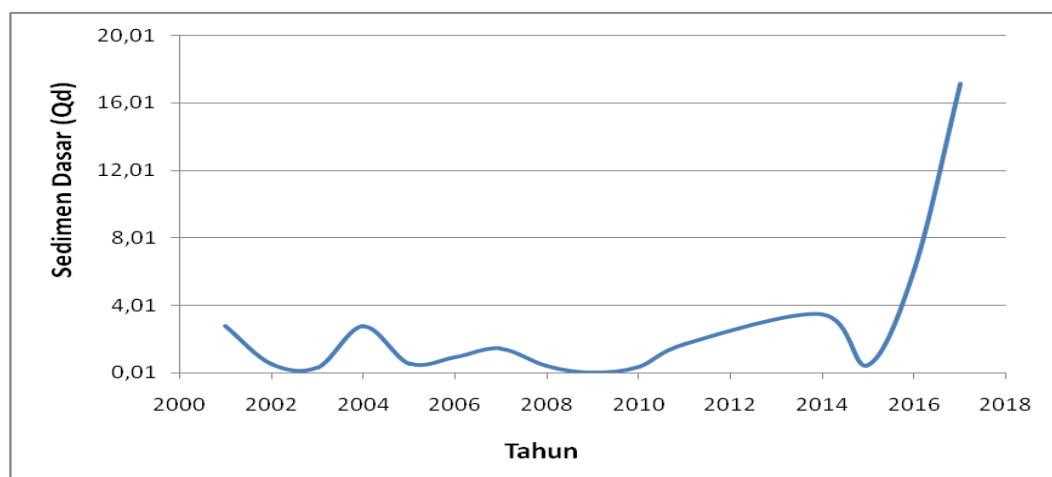
Pada gambar 13 grafik hubungan debit sungai dengan debit sedimen terlihat bahwa tingginya debit aliran sungai mempengaruhi kecepatan sedimen melayang, dan debit sedimen melayang mempengaruhi besarnya debit sedimen dasar. oleh karena itu debit sedimen dasar hampir sama besar dengan debit sedimen melayang.





Gambar 14. Grafik Sedimen melayang berdasarkan tahun

Berdasarkan Gambar 14 menunjukkan bahwa pada tahun 2017 terjadi peningkatan debit sedimen melayang, itu dikarenakan pada tahun tersebut, terjadi penimbunan pulau di bagian tengah Sungai Walanae tepatnya di Danau Tempe.



Gambar 15. Grafik Sedimen dasar berdasarkan tahun

Berdasarkan Gambar 15 menunjukkan bahwa pada tahun 2017 terjadi peningkatan debit sedimen dasar, karena peningkatan debit sedimen melayang dipengaruhi pula pada debit sedimen dasar.

### **C. Pembahasan Hasil Perhitungan**

#### **1. Sedimen Melayang (*suspended load*)**

Berdasarkan data-data hasil analisa kadar lumpurdan pengukuran debit air (lampiran 1) pada bagian tengah sungai Walanae, dengan menggunakan persamaan 6, maka diperoleh debit sedimen melayang sesaat ( $Q_{sm}$ ) yang hasilnya dapat dilihat pada lampiran 4.

Berdasarkan data debit air harian (lampiran 8) pada bagian tengah sungai Walanae, dengan menggunakan persamaan 8, maka diperoleh debit sedimen melayang ( $Q_{sm_{hit}}$ ) yang hasilnya dapat dilihat pada (lampiran 9), sehingga diperoleh volume sedimen melayang adalah 11050,7 ton/tahun, dan dalam 15 tahun sebesar 16576,05 ton.

Pada perhitungan debit sedimen melayang ( $Q_{sm}$ ) yang diperoleh dapat dilihat grafik hubungan debit sedimen melayang ( $Q_{sm}$ ) dengan debit sungai ( $Q_w$ ) pada gambar 11. Dari gambar terlihat bahwa debit sungai Walanae cenderung lebih tinggi dan nampak dibandingkan dengan grafik sedimen melayang. Namun karena tingginya debit air sungai tersebut sedimen melayang akan tebawah dengan cepat dan itulah yang

mengakibatkan tingginya volume sedimen melayang pada sungai Walanae pertahunnya.

## **2. Sedimen Dasar (*bed load*)**

Adapun yang dibahas adalah mengenai hasil perhitungan sedimen dasar (*bed load*). Dengan pengambilan sampel sedimen dasar dan pengujian sampel di laboratorium, diperoleh data kadar air sedimen, berat jenis sedimen dan analisa saringan, maka besarnya sedimen dasar dapat diketahui. Pada tugas akhir ini pengukuran muatan sedimen dasar dilakukan dengan beberapa metode pendekatan.

Berbagai persamaan untuk memperkirakan muatan sedimen dasar telah banyak dikembangkan, walaupun demikian penerapannya untuk penyelidikan di lapangan masih perlu pengkajian lebih lanjut. Beberapa persamaan untuk memperkirakan pada umumnya dikembangkan dari penyelidikan di laboratorium dengan skala kecil. Penerapannya juga terbatas pada kesamaan kondisi hidrolis dan material sedimen sebagaimana kondisi aslinya persamaan tersebut dikembangkan, umumnya digunakan persamaan Mayer-Peter dan Einstein, namun pada tugas akhir ini digunakan persamaan Mayer-Peter-Muller dan Duboys.

Dari hasil perhitungan dengan beberapa persamaan diperoleh hasil yang dapat dilihat pada tabel 6. Dari tabel tersebut menunjukkan bahwa persamaan Mayer Peter lah yang mendekati dengan hasil perhitungan di

lapangan. Sehingga perhitungan yang cukup efisien digunakan pada Sungai Walanae untuk menghitung sedimen dasar adalah metode Mayer Peter (M-P).

Pada perhitungan debit sedimen dasar ( $Q_{sd}$ ) yang diperoleh dapat dilihat grafik hubungan debit sedimen dasar ( $Q_{sd}$ ) dengan debit sungai ( $Q_w$ ) pada gambar 12. Dari gambar terlihat bahwa debit sungai Walanae lebih rendah dibandingkan dengan debit sedimen dasar. Karena tingginya debit sedimen dasar mengakibatkan sungai Walanae sering mengalami pendangkalan.

Pada gambar 13 grafik hubungan debit sungai dengan debit sedimen terlihat bahwa tingginya debit aliran sungai mempengaruhi kecepatan sedimen melayang, dan debit sedimen melayang mempengaruhi besarnya debit sedimen dasar. oleh karena itu debit sedimen dasar hampir sama besar dengan debit sedimen melayang.

Berdasarkan Gambar 14 dan Gambar 15 menunjukkan bahwa pada tahun 2017 terjadi peningkatan debit sedimen dikarenakan pada tahun tersebut, terjadi penimbunan pulau di bagian tengah Sungai Walanae tepatnya di Danau Tempe.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Berdasarkan data hasil uji sample sedimen, gradasi partikel sedimen di sungai Walanae terdiri dari pasir halus, pasir sedang, pasir kasar, dan nilai berat jenis sedimennya ( $\gamma_s$ ) berkisar antara 1,53 sampai 2,04 kg/cm<sup>3</sup>. Sedangkan kadar air sedimen (w) di Sungai Walanae berkisar antara 15,12 sampai dengan 53,95.
2. Berdasarkan data pengukuran aliran sungai dan kadar lumpur sedimen, maka kejadian angkutan sedimen melayang selama 15 tahun sebesar 1034,2 ton, dan dalam perhitungan sedimen dasar dengan menggunakan beberapa metode, diambil metode M-P yang cukup mendekati dengan perhitungan di lapangan dimana besar sedimen dasar selama 15 tahun sebesar 284,7 ton. Jadi dari besarnya sedimen melayang dan sedimen dasar, diperoleh tingkat angkutan sedimen total pada aliran sungai Walanae selama 15 tahun sebesar 1318,9 ton.

#### **B. Saran**

1. Perlu dilakukan penyuluhan pada masyarakat terutama yang berdomisili di daerah aliran sungai Walanae agar masyarakat sadar betapa pentingnya melestarikan alam dan lingkungan, sehingga tidak melakukan tindakan-tindakan yang dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungannya.

2. Mengingat kejadian sedimen yang cukup tinggi maka dipandang perlu segera dilakukan reboisasi.
3. Diharapkan melalui skripsi ini bisa dijadikan sebagai bahan penelitian selanjutnya oleh mahasiswa.

## DAFTAR PUSTAKA

- Boangmanalu Arta Olihen, Indrawan Ivan. 2012. “Kajian Laju Angkutan Sedimen Pada Sungai Wampu”. Jurnal Jurusan Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara.
- Diansari Rahma, 2013. “Analisis Perhitungan Muatan Sedimen (*Suspended Load*) Pada Muara Sungai Lilin Kabupaten Musi Banyuasin” Jurnal Jurusan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya.
- Gayo M. Yusuf (et al). 1985. “ Perbaikan dan Pengaturan Sungai “. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Hambali Roby, Yayuk Apriyanti. 2016. “ Studi Karakteristik Sedimen Dan Laju Sedimentasi Sungai Daeng – Kabupaten Bangka Barat”. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung.
- Hakim, Riskiyanti Siti. 2015 “ Studi Laju Sedimentasi Waduk Bili-Bili Pasca Pengembangan Bangunan Penahan Sedimen”. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- Irwan Musa Muhammad, 2012 “ Analisis Sedimentasi Pada Sungai Pattiro Kabupaten Bone Sulawesi Selatan ”. Skripsi Jurusan Sipil Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Ismail, Ramli Muhammad, 2011 “Analisis Laju Sedimentasi Sungai Gopa Kabupaten Sinjai”. Skripsi Jurusan Sipil Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Mokonio Oliviana, 2013. “ Analisis Sedimentasi Di Muara Sungai Saluwangko Di Desa Tounolet Kecamatan Kakas Kabupaten Minahasa”. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi.
- Pangestu Hendra, Haki Helmi, 2013. “Analisis Angkutan Sedimen Total Pada Sungai Dawas Kabupaten Musi Banyuasin” Jurnal Jurusan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya.
- Prasetyo Dani, Dermawan Very, Primantyo Andre H, 2015. “ Kajian Penanganan Sedimentasi Sungai Banjir Kanal Barat Kota Semarang ”. Jurnal Mahasiswa Program Magister Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang.
- Purnawan, Syahrul, Setiawan, Ichsan, Marwantim, 2012. “Studi Sebaran Sedimen Berdasarkan Ukuran Butir Di Perairan Kuala Gigieng Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh”. Jurnal Depik Vol 1 Nomor 1, Hal 31-36.

- Rezky Pratama Patta Noer, 2017 “Analisis Angkutan Sedimen Dasar Pada Saluran Terbuka Dengan Variasi Butiran Sedimen”. Skripsi Jurusan Sipil Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Sarimai Andi, 2017 “Analisis Kaakteistik Sedimentasi Sungai Bialo Dengan Aplikasi Surface Wate Modeling System” Skripsi Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar.
- Suhardiman, 2012 “Zonasi Tingkat Kerawanan Banjir Dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) Pada Sub Das Walanae Hilir”. Skripsi Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin Makassar
- Syaiful, Rizal Muhammad, 2014 “Analisis Muatan Sedimen Di Hilir Sungai Maros Kabupaten Maros”. Skripsi Jurusan Sipil Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.