

**STUDI KARAKTERISTIK SEDIMEN DAN LAJU SEDIMENTASI  
SUNGAI WAY SEKAMPUNG  
(STUDI KASUS : BENDUNGAN MARGATIGA, LAMPUNG TIMUR)**

**Oleh**

**NORA ANGGRAINI**

**Tesis**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
MAGISTER TEKNIK**

**Pada**

**Program Pascasarjana Magister Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

## ABSTRAK

### STUDI KARAKTERISTIK SEDIMEN DAN LAJU SEDIMENTASI SUNGAI WAY SEKAMPUNG (STUDI KASUS : BENDUNGAN MARGATIGA, LAMPUNG TIMUR)

Oleh :

**NORA ANGGRAINI**

Sungai Way Sekampung terletak di Propinsi Lampung, merupakan sungai sangat potensial untuk memenuhi berbagai kebutuhan air di propinsi tersebut antara lain irigasi, air baku air minum dan tenaga listrik. Sedimentasi yang terus menerus di daerah muara sungai dapat menyebabkan pendangkalan serta penutupan di hilir sungai. Sedimentasi yang semakin tinggi juga berpotensi mengurangi kapasitas tampung sungai yang menuju ke bagian hilir Bendungan Margatiga. Bendungan Margatiga merupakan satu kesatuan pemanfaatan air sungai Way Sekampung dari hulu hingga hilir sungai yang bersifat Cascade. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik sedimen dan laju sedimentasi di aliran Sungai Way Sekampung menuju Bendungan Margatiga Lampung Timur.

Penentuan titik lokasi pengambilan sampel sedimen menggunakan *metode purposive sampling*. Debit rata-rata sedimen pengukuran (Qs) pada sedimen layang yaitu sebesar 0.00048 ton/s, sedangkan pada sedimen dasar sebesar 0.02310 ton/s, dengan luas DAS 2.403,2 km<sup>2</sup>. Kecepatan arus rata-rata di aliran Sungai Way Sekampung sebesar 0.0316 m/s. Hasil penelitian menunjukkan gradasi partikel sedimen layang terdiri dari pasir sedang, pasir halus, pasir sangat halus dan lumpur kasar, sedangkan sedimen dasar terdiri dari kerikil halus, kerikil sangat halus, pasir sangat kasar, pasir kasar, pasir sedang, pasir halus, pasir sangat halus dan lumpur kasar. Berat volume menunjukkan bahwa rata-rata berat volume sedimen layang 0.0017 t/m<sup>3</sup> dan sedimen dasar 0.3238 t/m<sup>3</sup>.

Nilai rata-rata laju sedimentasi terkecil pada pukul 10.00 yaitu sebesar 204.461 kg/m<sup>2</sup>/minggu, sedangkan terbesar pada pukul 16.00 yaitu sebesar 454.495 kg/m<sup>2</sup>/minggu. Nilai laju sedimentasi yang tinggi sehingga menyebabkan adanya perubahan kedalaman menjadi dangkal. Sedimentasi yang tinggi akan menimbulkan terhambatnya air yang mengalir menuju ke laut, sehingga apabila musim hujan datang kemungkinan besar dapat menimbulkan terjadinya banjir di hulu sungai Way Sekampung.

Kata kunci : Sungai, Bendungan, Sedimen, Laju Sedimentasi

## **ABSTRACT**

### **STUDY OF SEDIMENT CHARACTERISTICS AND SEDIMENTATION RATE OF THE WAY SEKAMPUNG RIVER (CASE STUDY: MARGATIGA DAM, EAST LAMPUNG)**

**By :**

**NORA ANGGRAINI**

The Way Sekampung River, located in Lampung Province, is a river that has great potential to meet various water needs in the province, including irrigation, raw drinking water and electricity. Continuous sedimentation in the river mouth area can cause shallowing and closure of the river downstream. Increasing sedimentation also has the potential to reduce the carrying capacity of rivers leading downstream of the Margatiga Dam. The Margatiga Dam is a unified use of Way Sekampung river water from upstream to downstream of the Cascade river. This research aims to analyze the sediment characteristics and sedimentation rate in the Way Sekampung River flowing towards the Margatiga Dam, East Lampung.

Determining the location of sediment sampling using the purposive sampling method. The average discharge of sediment measurements ( $Q_s$ ) in elevated sediments is 0.00048 tons/s, while in bottom sediments it is 0.02310 tons/s with a watershed area of 2,403.2 km<sup>2</sup>. The average current speed in the Way Sekampung River is 0.0316 m/s. The results showed that the gradation of floating sediment particles consisted of medium sand, fine sand, very fine sand and coarse mud, while the bottom sediment consisted of fine gravel, very fine gravel, very coarse sand, coarse sand, medium sand, fine sand, very fine sand. and coarse mud. The volume weight shows that the average volume weight of the floating sediment is 0.0017 t/m<sup>3</sup> and the bottom sediment is 0.3238 t/m<sup>3</sup>.

The smallest average value of sedimentation rate was at 10.00, namely 204,461 kg/m<sup>2</sup>/week, while the largest was at 16.00, namely 454,495 kg/m<sup>2</sup>/week. The sedimentation rate was high, causing smooth changes in depth. High sedimentation will cause obstruction of water flowing towards the sea, so that when the rainy season comes it is likely to cause flooding in the upstream Way Sekampung river.

**Keywords:** River, Dam, Sediment, Sedimentation Rate

Judul Tesis : **STUDI KARAKTERISTIK SEDIMEN DAN LAJU SEDIMENTASI SUNGAI WAY SEKAMPUNG (STUDI KASUS : BENDUNGAN MARGATIGA, LAMPUNG TIMUR)**

Nama Mahaiswa : **Nora Anggraini**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2125011012

Program Studi : Magister Teknik Sipil

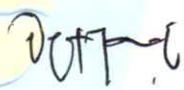
Fakultas : Teknik

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

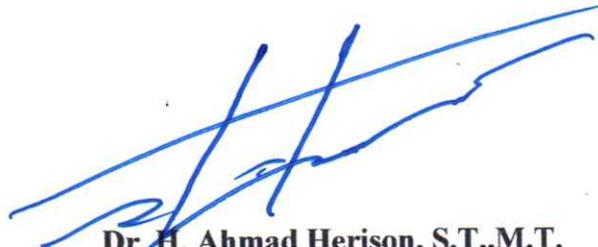
  
**Dr. Ir. Endro P. Wahono, S.T., M.Sc**

NIP. 197001291995121001

  
**Prof. Dr. Dyah Indriana Kusumastuti,**  
**S.T., M.Sc.**

NIP. 196912191995122001

2. Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil

  
**Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.**

NIP. 196910302000031001

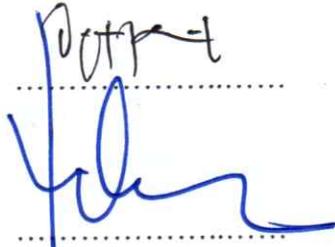
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Ir. Endro P. Wahono, S.T., M.Sc.**



Sekretaris : **Dr. Dyah Indriana Kusumastuti, S.T., M.Sc**

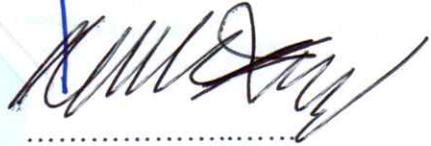


Penguji

Bukan : **Dr. Ofik Taufik Purwadi, S.T., M.T.**

Pembimbing

: **Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Teknik

**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }**

NIP. 19750928 200112 1 002



3. Direktur Program Pascasarjana

**Prof. Dr. Ir. Murhadi. M.Si.**

NIP. 19640326 198902 1 001



Tanggal Lulus Ujian Tesis : **14 Juni 2024**

## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan sebenarnya bahwa:

1. Tesis berjudul “ **STUDI KARAKTERISTIK SEDIMEN DAN LAJU SEDIMENTASI SUNGAI WAY SEKAMPUNG (STUDI KASUS : BENDUNGAN MARGATIGA, LAMPUNG TIMUR)**” adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa tesis ini dibuat oleh saya sendiri dengan saran dan bantuan dari berbagai pihak.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Juli 2024  
Pembuat Pernyataan



**Nora Anggraini, S.T.**  
**NPM. 2125011012**

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Metro, Provinsi Lampung pada tanggal 16 November 1994. Penulis merupakan anak ketiga dari Bapak Sadarudin dan Ibu Zahrab. Penulis memiliki 2 saudara kandung yang bernama Deassy Sada Jauhara, S.H., M.H dan Davied Iben Jauhari, S.H., M.H. Penulis memulai pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK Pertiwi Kota Metro, sekolah dasar di SD Xaverius Kota Metro. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Kota Metro dan melanjutkan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Kota Metro yang diselesaikan pada tahun 2012. Pada tahun 2017 penulis lulus sebagai Sarjana Teknik Prodi Teknik Sipil di Universitas Islam Indonesia (UII) Yogyakarta. Pada tahun 2017 penulis bekerja sebagai konsultan pengawas di P.T. Cipta Strada Engineering Consultant pada Proyek Jalan Tol Solo-Ngawi. Pada Tahun 2019 penulis bekerja di PT.Waskita Karya sampai dengan sekarang. Pada tahun 2021, penulis memutuskan untuk melanjutkan studinya ke jenjang strata dua (S2) sebagai Mahasiswi Magister pada Program Studi Magister Teknik Sipil di Universitas Lampung.

## MOTTO

Fa inna ma'al-'usri yusrā, inna ma'al-'usri yusrā

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan,  
Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah: Ayat 5-6)

Wa may yatawakkal 'alallāhi fa huwa ḥasbuh, innallāha bāligu  
amrih, qad ja'alallāhu likulli syai`ing qadrā

“Dan barangsiapa yang bertawakkal kepada Allah niscaya Allah  
akan mencukupkan (keperluan)nya. Sesungguhnya Allah  
melaksanakan urusan yang (dikehendaki)Nya. Sesungguhnya  
Allah telah mengadakan ketentuan bagi tiap-tiap sesuatu”

(QS. At-Talaq: Ayat 3)

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Alhamdulillahirabbilamin. Kuucapkan Syukur atas Karunia-Mu Akhirnya saya dapat menyelesaikan sebuah karya yang semoga menjadikanku insan yang berguna,bermanfaat dan bermartabat. Aku Persembahkan karya sederhana ini untuk kedua orang tuaku yang sangat aku cintai yang telah merawat dan memberikan dukungan materi serta moril dan spiritual. Terimakasih untuk kesabarannya dalam membimbing dan memberikan arahan serta nasihat yang berguna.*

*Terimakasih telah memeberikan pelajaran hidup yang sangat berharga. Untuk keluarga ku yang selalu mendukung dan bersabar selama masa kuliah aku. Untuk sahabat-sahabatku yang telah mendukungku dan telah menjadi tempat untuk berbagi cerita dan tempat berkeluh kesah.*

*Terima kasih untuk para dosen yang tak hentinya memberikan ilmu pengetahuan, arahan serta bimbingannya.*

*Terima kasih untuk teman-teman keluarga besar angkatan 2021 dan atas dukungannya dalam proses yang sangat panjang ini. Menemani perjalanan kuliah dari awal hingga akhir studi. Banyak kenangan yang telah kita lalui bersama. Serta untuk kekasih tercinta yang selalu ada membantu dan menemani dalam penulisan tesis ini.*

## SANWACANA

Dengan mengucap syukur Alhamdulillah dan atas berkat rahmat serta hidayah Allah S.W.T., penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi Karakteristik Sedimentasi dan Laju Sedimentasi Sungai Way Sekampung (Studi Kasus : Bendungan Margatiga, Lampung Timur)” merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Magister Teknik Sipil di Universitas Lampung.

Tesis ini dapat diselesaikan dengan bantuan, bimbingan dan petunjuk dari semua pihak dari proses perkuliahan sampai pada saat penulisan tesis ini. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih dan penghargaan kepada :

1. Allah S.W.T yang senantiasa memberikan niat dan berkah dalam melancarkan segala proses penulisan tesis ini;
2. Kedua orang tuaku tercinta Ayah Hi. Sadarudin, S.Sos dan Ibu Hj. Zahrab, S.IP, kakak-kakaku tersayang Deassy Sada Jauhara, S.H., M.H., dan Davied Iben Jauhari, S.H., M.H., serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini;
3. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., selaku Rektor Universitas Lampung;
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si. selaku Direktur Program Pascasarjana, Universitas Lampung;
5. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
6. Bapak Dr. H. Ahmad Herison, S.T.,M.T., selaku Ketua Prodi Magister Teknik Sipil Universitas Lampung;
7. Bapak Dr. Ir. Endro P. Wahono, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing I, yang telah menyediakan waktunya memberikan bimbingan, pengarahan serta dukungannya dalam proses penyelesaian tesis ini;
8. Ibu Prof. Dr. Dyah Indriana Kusumastuti, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing II, yang telah menyediakan waktunya memberikan bimbingan, pengarahan serta dukungannya dalam proses penyelesaian tesis ini;

9. Bapak Dr. Ofik Taufik Purwadi, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji 1 atas waktunya serta kritik, saran dan masukan yang diberikan dalam proses penyelesaian skripsi ini;
10. Bapak Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D., selaku Dosen Penguji 1 atas waktunya serta kritik, saran dan masukan yang diberikan dalam proses penyelesaian skripsi ini; .
11. Semua Dosen Jurusan Teknik Sipil & staff administrasi pada Program Magister Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat dalam proses pembelajaran dan wawasan untuk lebih baik kedepannya.
12. Seluruh teman-teman Magister Teknik Sipil Universitas Lampung angkatan 2021 yang telah banyak membantu dan memberi semangat dalam proses penyelesaian tesis ini;
13. Seluruh sahabat dan rekan kerja yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam proses penyelesaian tesis ini;
14. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat dan dapat memberikan sumbangan ilmu pengetahuan bagi khalayak secara umum dan khususnya bagi mahasiswa/i jurusan teknik sipil.

Bandar Lampung, Juli 2024

Penulis,

**Nora Anggraini**

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>I</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>XI</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>XIII</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>XV</b>
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1. 1 Latar Belakang.....	1
1. 2 Perumusan Masalah.....	4
1. 3 Tujuan Penelitian .....	4
1. 4 Batasan Penelitian.....	4
1. 5 Manfaat Penelitian .....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Bendungan .....	6
2.1.1 Jenis - Jenis Bendungan.....	8
2.2 Sungai .....	12
2.2.1 Perilaku Sungai .....	13
2.2.2 Jenis Pola Aliran Sungai .....	13
2.3 Daerah Aliran Sungai (DAS).....	16
2.4 Debit Lingkungan dan Debit Aliran .....	19
2.5 Sedimen dan Sedimentasi .....	21
2.5.1 Jenis - Jenis Sedimentasi.....	26
2.5.2 Pergerakan Angkutan Sedimen.....	27
2.5.3 Proses Sedimentasi .....	28
2.5.4 Karakteristik Sedimen.....	29
2.5.5 Sifat-Sifat Material Sedimen .....	33
2.5.6 Mekanisme Angkutan Partikel.....	36
2.6 Laju Pengangkutan Sedimen .....	41
2.6.1 Mekanisme Pergerakan Sedimen.....	43
<b>III. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>47</b>

3.1	Studi Literatur .....	47
3.2	Lokasi Penelitian .....	47
3.3	Metode Penelitian .....	49
	3.3.1. Pengambilan dan Pengolahan Sampel Laju Sedimentasi .....	50
	3.3.2 Kegiatan Lapangan .....	50
	3.3.3 Analisis Data .....	53
3.4	Bagan Alir Penelitian.....	55
<b>IV. HASIL PENELITIAN .....</b>		<b>56</b>
4.1	Data Hasil Penelitian .....	56
	4.1.1 Debit Sedimen Suspensi Pengukuran .....	56
	4.1.2 Debit Aliran .....	58
	4.1.3 Gradasi Butiran Sedimen .....	60
	4.1.4 Berat Volume Sedimen .....	87
	4.1.5 Laju Sedimentasi.....	87
	4.1.6 Hubungan Antara Debit Dan Laju Sedimentasi .....	87
4.2	Perbandingan dengan literatur sebelumnya .....	87
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>100</b>
5.1	Kesimpulan.....	100
5.2	Saran .....	101
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>VI</b>

## DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1 Klasifikasi Ukuran Butiran Berdasarkan AGU ( <i>American Geophysical Union</i> ) .....	31
Tabel 2.2 Klasifikasi Ukuran Partikel (Van Rijn, 1993).....	33
Tabel 3.1 Jarak Tenggelam dan Waktu Pemipetan.....	52
Tabel 4.1 Debit Sedimen Suspensi Pengukuran.....	57
Tabel 4.2 Total Waktu Debit Aliran yang Digunakan .....	58
Tabel 4.3 Data Debit Aliran Pada Lokasi Pengambilan .....	59
Tabel 4.4 Klasifikasi Ukuran Butiran American Geophysical Union.....	60
Tabel 4.5 Data Sampel 1 Tengah Sedimen Layang Pukul 10.00.....	61
Tabel 4.6 Data Sampel 2 Kiri Sedimen Layang Pukul 10.00 .....	62
Tabel 4.7 Data Sampel 3 Kanan Sedimen Layang Pukul 10.00 .....	63
Tabel 4.8 Klasifikasi Ukuran Butiran Sedimen Layang Pukul 10.00 Berdasarkan AGU .....	64
Tabel 4.9 Data Sampel 1 Tengah Sedimen Layang Pukul 13.00.....	65
Tabel 4.10 Data Sampel 2 Kiri Sedimen Layang Pukul 13.00 .....	66
Tabel 4.11 Data Sampel 3 Kanan Sedimen Layang Pukul 13.00 .....	67
Tabel 4.12 Klasifikasi Ukuran Butiran Sedimen Layang Pukul 13.00 Berdasarkan AGU .....	68
Tabel 4.13 Data Sampel 1 Tengah Sedimen Layang Pukul 16.00.....	69
Tabel 4.14 Data Sampel 2 Kiri Sedimen Layang Pukul 16.00 .....	70
Tabel 4.15 Data Sampel 3 Kanan Sedimen Layang Pukul 16.00 .....	71
Tabel 4.16 Klasifikasi Ukuran Butiran Sedimen Layang Pukul 16.00 Berdasarkan AGU .....	72
Tabel 4.17 Data Sampel 1 Tengah Sedimen Dasar Pukul 10.00 .....	73
Tabel 4.18 Data Sampel 2 Kiri Sedimen Dasar Pukul 10.00.....	74
Tabel 4.19 Data Sampel 3 Kanan Sedimen Dasar Pukul 10.00.....	75
Tabel 4. 20 Klasifikasi Ukuran Butiran Sedimen Dasar Pukul 10.00 Berdasarkan AGU .....	76

Tabel 4.21 Data Sampel 1 Tengah Sedimen Dasar Pukul 13.00 .....	77
Tabel 4.22 Data Sampel 2 Kiri Sedimen Dasar Pukul 13.00 .....	78
Tabel 4.23 Data Sampel 3 Kanan Sedimen Dasar Pukul 13.00 .....	79
Tabel 4.24 Klasifikasi Ukuran Butiran Sedimen Dasar Pukul 13.00 Berdasarkan AGU .....	80
Tabel 4.25 Data Sampel 1 Tengah Sedimen Dasar Pukul 16.00 .....	81
Tabel 4.26 Data Sampel 2 Kiri Sedimen Dasar Pukul 16.00 .....	82
Tabel 4.27 Data Sampel 3 Kanan Sedimen Dasar Pukul 16.00 .....	83
Tabel 4.28 Klasifikasi Ukuran Butiran Sedimen Dasar Pukul 16.00 Berdasarkan AGU .....	84
Tabel 4.29 Klasifikasi Ukuran Butiran Sedimen Layang Berdasarkan AGU.....	85
Tabel 4.30 Klasifikasi Ukuran Butiran Sedimen Dasar Berdasarkan AGU .....	86
Tabel 4.31 Berat Volume Sedimen Sungai (t/m <sup>3</sup> ) .....	87
Tabel 4.32 Data Laju Sedimen Pada Stasiun Pengamatan di Perairan Sungai Way Sekampung .....	88
Tabel 4.33 Laju Sedimentasi di Perairan Sungai Way Sekampung.....	89
Tabel 4.34 Hubungan Antara Debit – Laju Sedimentasi Sedimen Layang( <i>Suspended Load</i> ).....	90
Tabel 4.35 Hubungan Antara Debit – Laju Sedimentasi Sedimen Dasar ( <i>Bed Load</i> ) .....	89
Tabel 4.36 Perbandingan Dengan Literatur Terdahulu.....	93
Tabel 4.37 Perbandingan Literatur Penelitian.....	98

## DAFTAR GAMBAR

### Halaman

Gambar 2.1 Skema Sistem Sungai dan Kondisi Penyediaan Sumber Daya Air Way Sekampung. ....	7
Gambar 2.2 Karakteristik DAS (Suripin, 2004).....	18
Gambar 2. 3 Hubungan Antara Koefesien Hambatan Terhadap Bilangan Reynolds Untuk Faktor yang Berbeda (Albertson, 1953 dalam Rijn, 1993). ....	36
Gambar 2.4 Tampang Panjang Saluran Dengan Dasar Granuler (Mardjikoen, 1987). ....	37
Gambar 2.5 Angkutan Sedimen Pada Tampang Panjang Dengan Dasar Granuler. (Mardjikoen, 1987). ....	37
Gambar 2.6 Transpor Sedimen Dalam Aliran Air Sungai (Asdak, 2014). ....	38
Gambar 2.7 Ragam Endapan Menurut ISO-Standards (ISO 4363). ....	40
Gambar 2.8 Bentuk Banjir Lahar yang Mengandung Batu-Batu (Batu-Batu Besar Berkontererasi di Bagian Depan dan Kerikil Ukuran Kecil Terdapat Bibagian Belakang Aliran) Suyono Sudarsono dan Masateru Tominaga, 2008. ....	44
Gambar 2. 9 Progres Gerakan Sedimen dan Perpindahan Daerah Pengendapan Karena Terjadinya Perubahan Muka Air (Suyono Sudarsono dan Masateru Tominaga, 2008). ....	44
Gambar 3.1 Lokasi Bendungan Margatiga.....	47
Gambar 3.2 Arah Perjalanan Bendungan Margatiga. ....	48
Gambar 3.3 Area Genangan Bendungan Margatiga. ....	48
Gambar 3.4 Lokasi Penelitian 5°10'06.3"S 105°20'59.5"E. ....	49
Gambar 4.1 Grafik Gradasi Butiran Sampel 1Tengah Sedimen Layang Pukul 10.00.....	61
Gambar 4.2 Grafik Gradasi Butiran Sampel 2 Kiri Sedimen Layang Pukul 10.00. ....	62
Gambar 4.3 Grafik Gradasi Butiran Sampel 3 Kanan Sedimen Layang Jam 10.00. ....	63
Gambar 4.4 Grafik Gradasi Butiran Kumulatif Sedimen Layang Jam 10.00. ....	64

Gambar 4.5 Grafik Gradasi Butiran Sampel 1 Tengah Sedimen Layang Jam 13.00. .....	65
Gambar 4.6 Grafik Gradasi Butiran Sampel 2 Kiri Sedimen Layang Pukul 13.00. .....	66
Gambar 4.7 Grafik Gradasi Butiran Sampel 3 Kanan Sedimen Layang Pukul 13.00. .....	67
Gambar 4.8 Grafik Gradasi Butiran Kumulatif Sedimen Layang Pukul 13.00. ....	68
Gambar 4.9 Grafik Gradasi Butiran Sampel 1 Tengah Sedimen Layang Pukul 16.00.....	69
Gambar 4.10 Grafik Gradasi Butiran Sampel 2 Kiri Sedimen Layang Jam 16.00. .....	70
Gambar 4.11 Grafik Gradasi Butiran Sampel 3 Kanan Sedimen Layang Pukul 16.00.....	71
Gambar 4.12 Grafik Gradasi Butiran Kumulatif Sedimen Layang Jam 16.00. ....	72
Gambar 4.13 Grafik Gradasi Butiran Sampel 1 Tengah Sedimen Dasar Pukul 10.00. .....	73
Gambar 4.14 Grafik Gradasi Butiran Sampel 2 Kiri Sedimen Dasar Pukul 10.00. .....	74
Gambar 4.15 Grafik Gradasi Butiran Sampel 3 Kanan Sedimen Dasar Pukul 10.00. .....	75
Gambar 4.16 Grafik Gradasi Butiran Kumulatif Sedimen Dasar Pukul 10.00. ....	76
Gambar 4.17 Grafik Gradasi Butiran Sampel 1 Tengah Sedimen Dasar Pukul 13.00. .....	77
Gambar 4.18 Grafik Gradasi Butiran Sampel 2 Kiri Sedimen Dasar Pukul 13.00. .....	78
Gambar 4.19 Gradasi Butiran Sampel 3 Kanan Sedimen Dasar Pukul 13.00. ....	79
Gambar 4.20 Grafik Gradasi Butiran Kumulatif Sedimen Dasar Pukul 13.00. ....	80
Gambar 4.21 Grafik Gradasi Butiran Sampel 1 Tengah Sedimen Dasar Pukul 16.00. .....	81
Gambar 4.22 Grafik Gradasi Butiran Sampel 2 Kiri Sedimen Dasar Pukul 16.00. .....	82

Gambar 4.23 Grafik Gradasi Butiran Sampel 3 Kanan Sedimen Dasar Pukul 16.00. .....	83
Gambar 4.24 Grafik Gradasi Butiran Kumulatif Sedimen Dasar Pukul 16.00. ....	84
Gambar 4.25 Grafik Nilai Rata-Rata Laju Sedimentasi Per Bagian Jam. ....	89
Gambar 4.26 Grafik Hubungan Antara Debit- Laju Sedimentasi Sedimen Layang ( <i>Suspended Load</i> ). ....	91
Gambar 4.27 Grafik Hubungan Antara Debit – Laju Sedimentasi Sedimen Dasar ( <i>Bed Load</i> ). ....	92

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan air merupakan kebutuhan pokok masyarakat yang harus dipenuhi oleh pemerintah, bersama dengan kebutuhan lainnya yang diperoleh dari pengelolaan sumber daya alam. Dalam rangka mendukung Program Ketahanan Pangan Nasional, Pemerintah melalui Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat pada tahun 2015 merencanakan membangun 13 bendungan baru dengan volume 894,2 juta m<sup>3</sup>. Pada tahun 2016 bendungan-bendungan baru tersebut diharapkan akan menambah kapasitas tampung dari 15 miliar m<sup>3</sup>, menjadi 17 miliar m<sup>3</sup>. Sehingga peningkatan penyediaan air irigasi dari waduk naik dari 11 persen menjadi 15 persen, dan peningkatan penyediaan tenaga listrik (PLTA) sebesar 226,88 MW. Selain program tersebut juga dicanangkan pembangunan irigasi baru dan lanjutan seluas 0,18 juta hektar.

Salah satu prioritas pemerintah dalam rangka menjaga ketahanan pangan dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat, yaitu dengan melakukan pengembangan sumber daya air di Indonesia. Upaya pengembangan sumber daya air yang sedang dan terus dilakukan adalah melakukan optimalisasi dalam bidang sumber daya air dengan cara membangun infrastruktur sumber daya air berupa bendungan. Program pembangunan tersebut salah satunya akan dilaksanakan di Provinsi Lampung yang merupakan salah satu lumbung beras nasional di luar pulau Jawa. Program tersebut salah satunya untuk mendukung pengembangan areal persawahan di Daerah Irigasi Rawa Jabung kanan (10.950 ha) dan Jabung kiri (5.638 ha) melalui Bendung Jabung dengan total luas 16.588 ha.

Areal Daerah Irigasi Rawa tersebut dikembangkan dengan rencana pembangunan Bendungan Margatiga di Kabupaten Lampung Timur. Penggunaan sumber daya air dapat dilakukan secara optimal sehingga dapat meningkatkan kehidupan masyarakat yang terlayani terutama dapat memenuhi kekurangan air bagi kehidupan masyarakat dan kebutuhan air untuk Daerah Irigasi Rawa di bagian hilir Bendungan Margatiga. Pembangunan Bendungan Margatiga merupakan satu kesatuan pemanfaatan air sungai Way Sekampung dari

hulu hingga hilir sungai yang bersifat *Cascade*. Di bagian paling hulu terdapat Bendungan Batuteги, pada bagian tengah terdapat Bendungan Way Sekampung dan di bagian hilir Bendungan Margatiga.

Bendungan atau dam adalah konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air menjadi waduk, danau, atau tempat rekreasi. Bendungan merupakan salah satu prasarana pengembangan sumber daya air yang cukup banyak dikembangkan di Indonesia. Pembangunan bendungan sudah dimulai sejak tahun 1914. Bendungan Margatiga berada di desa Negeri Jumanten, Kecamatan Margatiga, Kabupaten Lampung Timur merupakan salah satu bendungan yang sedang dalam proses pembangunan saat ini. Akses dari Bandara Raden Inten-II dapat ditempuh dengan transportasi darat selama  $\pm 2$  jam.

Fungsi utama Bendungan Margatiga adalah untuk keperluan irigasi Bendung Jabung, yang berada dihilir waduk berjarak  $\pm 55$  km dari Bendungan Margatiga selain itu juga digunakan untuk pengendalian banjir, penyediaan air baku, air minum, pengembangan wisata, konservasi air dan pemeliharaan lingkungan didaerah hilirnya. Pengendalian banjir jangka panjang biasanya menggunakan debit banjir dengan debit dan periode ulang tertentu sesuai dengan rencana pengendaliannya sehingga pada kurun waktu setelah kegiatan dan bangunan banjir selesai sistem pengendalian tersebut masih efektif untuk mencegah banjir (Syah 2017).

Bendungan Margatiga memiliki kapasitas tampungan normal 42,31 juta  $m^3$  ini diproyeksikan akan memberikan pasokan air irigasi seluas 16.597 Ha di DI Jabung (DI Jabung Kiri 5.638 Ha, DI Jabung Kanan 10.950 Ha), potensial Penyediaan air baku 0,8  $m^3/s$ , reduksi banjir sebesar 83,1  $m^3/s$  dan pemeliharaan lingkungan didaerah hilir 1,5  $m^3/s$ . Penyediaan air irigasi akan dapat meningkatkan intensitas tanam DI Jabung hingga 200%.

Bendungan Margatiga nantinya dilalui oleh aliran Sungai Way Sekampung. Sungai Way Sekampung adalah salah satu sungai terbesar yang mengalir di bagian paling selatan Kabupaten Lampung Timur. Aliran sungai ini memisahkan Kabupaten Lampung Timur dengan Kabupaten Lampung Selatan. Di Wilayah Kabupaten Lampung Timur terdapat banyak aliran sungai yang bermuara di Way Sekampung. Aliran sungai tersebut antara lain Way Ngisen, Way Capang, Way Curup, Way Nibung, Way Buyut, Way Sipin, Way Bekarang, Way Kandis Besar,

Way Ulan, Way Bakun, Way Rupuyuh, Way Samping, Way Kenali dan Way Galih.

Way Sekampung berhulu sungai di kaki bukit Gunung Rindingan, Kabupaten Tanggamus dan bermuara di Laut Jawa, dengan total panjang aliran hulu hingga Laut Jawa sepanjang 265 km. Way Sekampung mempunyai karakteristik fisik bentuk sungai berkelok-kelok (*meandering*), dengan jumlah cabang sungai sebanyak 12 buah, permukaan sungai di bagian hulu hingga tengah memiliki lebar berkisar 50-60 m, kedalaman bervariasi 3,2-4,5 m, kecepatan aliran rata-rata umum kurang dari 0,2 m/s. Adapun di bagian hilir hingga muara sungai memiliki lebar permukaan 70 hingga 144 meter, dan mulut muara sungai memiliki lebar hingga 1.285 meter.

Daerah muara sungai merupakan daerah yang memiliki produktivitas yang tinggi. Hal tersebut dikarenakan pada daerah muara mengalami penambahan bahan- bahan organik maupun anorganik yang berasal dari daratan yang mengalir melalui aliran sungai dan perairan disekitarnya yang terjadi secara terus menerus. Sungai yang cenderung curam dan akibat besarnya debit curah hujan mengakibatkan terjadi kenaikan muka air sungai dengan cepat dan secara signifikan menggerus dasar sungai.

Erosi yang terjadi di darat menghasilkan sedimen yang masuk atau terbawa ke aliran sungai, serta sedimen yang berasal dari laut masuk ke alur sungai melalui muara sungai akan mengakibatkan sedimentasi yang terjadi di muara sungai. Proses sedimentasi akan mengalami pergerakan secara terus menerus, proses sedimentasi yaitu meliputi proses erosi, angkutan (*transportation*), pengendapan (*deposition*) dan pemadatan (*compaction*).

Material sedimen yang berperan dalam proses sedimentasi di muara sungai yaitu berasal dari beberapa sumber, contohnya adalah erosi tanah di sungai dan lahan sekitarnya serta erosi dasar laut. Untuk mengetahui tingkat sedimentasi yang terjadi, maka dilakukan analisa laju sedimentasi. Laju sedimentasi dipengaruhi oleh 2 faktor, yaitu faktor yang berasal dari sungai dan faktor yang berasal dari laut atau faktor hidro-oseanografi.

Banyaknya sedimen yang mengendap di waduk merupakan salah satu faktor pembatas terhadap kapasitas tampungan efektif waduk, sehingga jumlah endapan

sedimen di waduk biasa digunakan untuk menetapkan masa guna waduk (*life time storage*). Sedimentasi merupakan peristiwa pengendapan atau penumpukan material batuan yang terangkut oleh tenaga air maupun angin di suatu tempat (Hambali, 2016). Proses sedimentasi pada suatu sungai meliputi proses erosi, transportasi, pengendapan dan pemadatan dari sedimentasi itu sendiri (Sudira, 2013). Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui karakteristik sedimen dan laju sedimentasi yang terjadi pada aliran Sungai Way Sekampung di Bendungan Margatiga.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Berapa debit rata-rata sedimen suspensi pengukuran (Qs) sedimen layang dan sedimen dasar pada aliran Sungai Way Sekampung.
2. Bagaimana karakteristik sedimen Sungai Way Sekampung yang menuju pada Bendungan Margatiga.
3. Berapa laju sedimentasi di Sungai Way Sekampung.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah sebagaimana diuraikan di atas, maka tujuan penelitian adalah :

1. Menganalisis debit rata-rata sedimen suspensi pengukuran (Qs) sedimen layang dan sedimen dasar pada aliran Sungai Way Sekampung.
2. Menganalisis karakteristik sedimen Sungai Way Sekampung yang menuju pada Bendungan Margatiga.
3. Menganalisis laju sedimentasi di Sungai Way Sekampung.

## **1.4 Batasan Penelitian**

Batasan penelitian dalam penulisan tesis ini adalah sebagai berikut:

1. Lokasi pengambilan data di aliran Sungai Way Sekampung ( $5^{\circ}10'06.3''S$   $105^{\circ}20'59.5''E$ ).

2. Data sedimen yang diambil adalah sedimen layang dan sedimen dasar pada waktu tertentu.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk mengamati laju sedimentasi dan karakteristik sedimentasi di sekitar lokasi Bendungan Margatiga dan di aliran Sungai Way Sekampung. Dengan mengetahui tingkat sedimentasi yang terjadi sehingga dapat memberikan strategi pengelolaan sedimentasi pada aliran Sungai Way Sekampung.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Bendungan

Bendungan adalah konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air menjadi waduk, danau, atau tempat rekreasi. Sering kali bendungan juga digunakan untuk mengalirkan air ke sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Air. Kebanyakan dam juga memiliki bagian yang disebut pintu air untuk membuang air yang tidak diinginkan secara bertahap atau berkelanjutan.

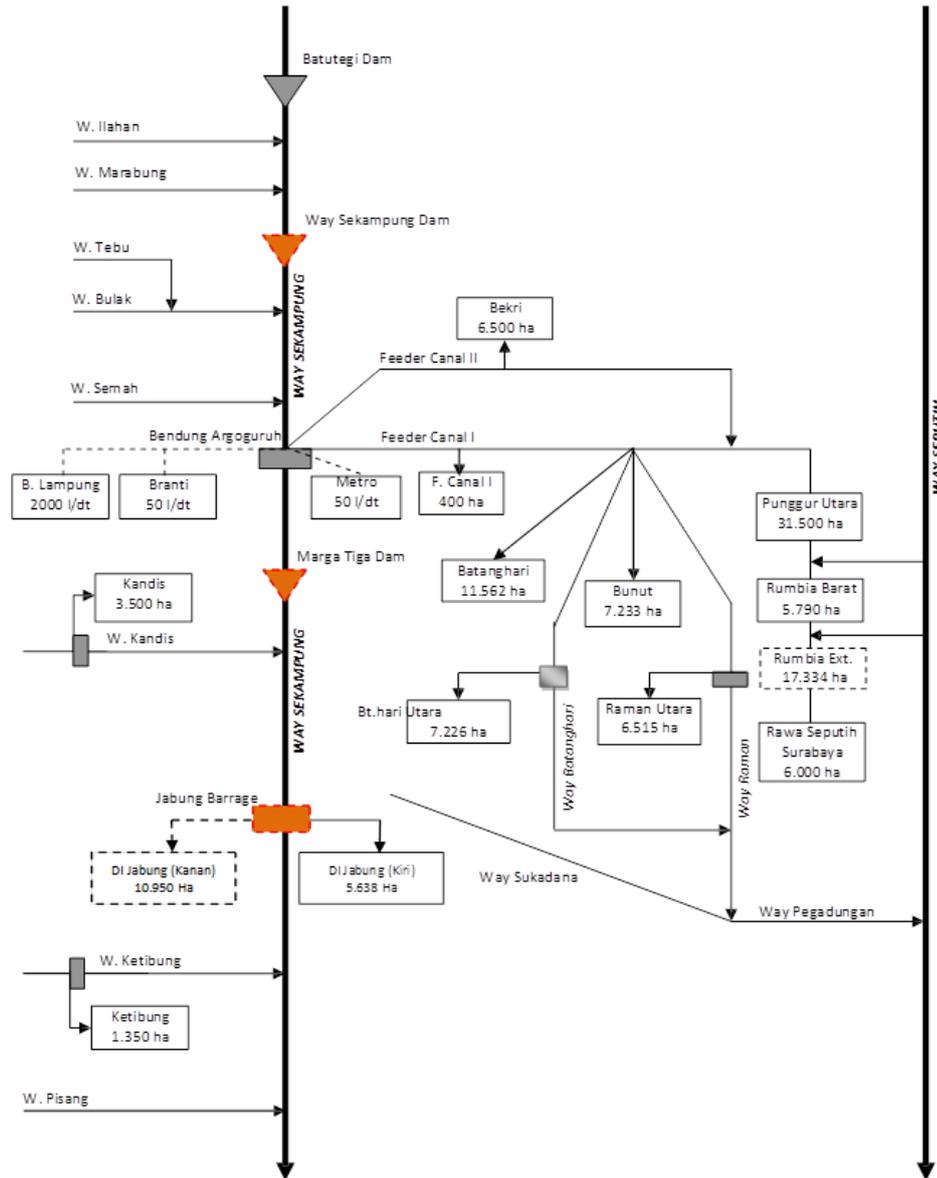
Sebuah bendungan berfungsi sebagai penangkap air dan menyimpannya di musim hujan waktu air sungai mengalir dalam jumlah besar dan yang melebihi kebutuhan baik untuk keperluan irigasi, air minum, industri atau yang lainnya. Berbeda dengan fungsi sebuah bendung yang tidak dapat menyimpan air melainkan hanya untuk meninggikan muka air sungai dan mengalirkan sebagian aliran air sungai yang ada ke arah tepi kanan dan atau kiri sungai untuk mengalirkannya ke dalam saluran melalui sebuah bangunan pengambilan jaringan irigasi. Dengan memiliki daya tampung tersebut sejumlah besar air sungai yang melebihi kebutuhan dapat disimpan dalam waduk dan baru dilepas mengalir ke dalam sungai lagi di hilirnya sesuai dengan kebutuhan saja pada waktu yang diperlukan.

Bendungan merupakan salah satu prasarana pengembangan sumber daya air yang cukup banyak dikembangkan di Indonesia. Sebagai bangunan pengairan bendungan berfungsi menampung air sungai suatu waduk (*reservoir*). Konsekuensi dari penampungan air sungai tersebut akan ikut tertampung juga sedimen yang terbawa oleh aliran air, baik berupa endapan melayang (*suspended load*) maupun endapan dasar (*bed load*).

Bendungan dibangun sebagai salah sarana yang sangat vital untuk menunjang fungsi pengairan, pencegahan air dan pembangkit listrik selain itu juga menunjang sektor perikanan, pariwisata dan pertanian. Sebuah bendungan dapat dibuat dari bahan bangunan timbunan tanah campur batu berukuran kecil sampai besar atau dari beton.

Bendungan Margatiga merupakan bendungan dengan tipe *cascade*, yaitu . Pembangunan Bendungan Margatiga merupakan satu kesatuan pemanfaatan air

sungai Way Sekampung dari hulu hingga hilir sungai yang bersifat *Cascade*. Di bagian paling hulu terdapat Bendungan Batutegi, pada bagian tengah terdapat Bendungan Way Sekampung dan di bagian hilir Bendungan Margatiga. seperti dapat dilihat pada Gambar 2.1 Skema Sistem Sungai dan Kondisi Penyediaan Sumber Daya Air Way Sekampung di bawah ini.



**Gambar 2.1 Skema Sistem Sungai dan Kondisi Penyediaan Sumber Daya Air Way Sekampung.**

Bilamana aliran air sungai yang masuk ke dalam waduk tersebut melebihi air yang dialirkan ke luar waduk sesuai dengan kebutuhan, maka isi waduk makin lama makin penuh dan dapat melampaui batas daya tampung rencananya, sehingga

permukaan air dalam waduk akan naik terus dan akhir meluap. Untuk mencegah terjadinya limpasan air pada sebuah bendungan, limpasan air tersebut diarahkan pada bangunan pelimpah yang lokasinya dipilih menurut kondisi topografi yang terbaik. Panjang bangunan pelimpah ini dihitung menurut debit rencana sedemikian rupa hingga tinggi muka air waduk tidak akan naik lebih tinggi dari pusat bendungan dan bahkan biasanya direncanakan agar muka air waduk itu lebih rendah dari puncak bendungan minimum 5 meter.

Bendungan pertama menurut catatan sejarah adalah yang dibangun di Sungai Nil Mesir 4000 tahun SM, sedangkan bendungan tertua yang sekarang masih ada dan berfungsi adalah Bendungan Almanza di Spanyol yang berusia lebih dari 4 abad. Pelaksanaan konstruksinya bisa berbarengan, namun umumnya bendung yang dilaksanakan terlebih dahulu dan setelah bendung berfungsi bertahun-tahun dan ternyata diperlukan tambahan kebutuhan air yang lebih dapat diandalkan, maka barulah bendungan di sebelah hulu dilaksanakan konstruksinya.

Fungsi utama sebuah waduk adalah untuk menstabilkan atau menciptakan pemerataan aliran air sungai baik dengan cara menampung persediaan air sungai yang berubah sepanjang tahun maupun dengan melepas air tampungan itu secara terprogram melalui saluran air yang dibuat khusus di dalam tubuh bendungan sesuai kebutuhan.

### **2.1.1 Jenis-Jenis Bendungan**

Pembagian tipe bendungan dapat dibagi menjadi 7 keadaan yaitu :

1. Tipe bendungan berdasarkan ukurannya, ada 2 tipe yaitu :
  - a. Bendungan besar (*Large Dams*). Berdasarkan klasifikasi :
    - Ketinggian bendungan.
    - Panjang puncak bendungan tidak kurang dari 500 meter.
    - Kapasitas waduk yang terbentuk tidak kurang dari 1 juta meter kubik.
    - Debit banjir maksimum yang diperhitungkan tidak kurang dari 2000 m<sup>3</sup>/s.
  - b. Bendungan kecil (*Small Dam*)

Semua bendungan yang tidak termasuk sebagai bendungan besar.

2. Tipe bendungan berdasar tujuan pembangunannya ada 2 (dua) tipe yaitu :
  - a. Bendungan dengan tujuan tunggal (*Single purpose dam*). Adalah bendungan yang dibangun untuk memenuhi satu tujuan saja, misalnya untuk PLTA, irigasi, pengendalian banjir dan kebutuhan lain.
  - b. Bendungan serba guna (*multi purpose*) adalah bendungan yang dibangun untuk memenuhi beberapa tujuan, misalnya PLTA dan irigasi, Irigasi dan pengendalian banjir dll.
3. Tipe bendungan berdasar penggunaannya. Ada 3 (tiga) tipe yaitu :
  - a. Bendungan untuk membentuk waduk (*storage dam*) adalah bendungan yang dibangun untuk membentuk waduk guna menyimpan air waktu kelebihan agar dapat dipakai pada waktu diperlukan.
  - b. Bendungan penangkap/pembelok air (*diversion dam*) bendungan yang dibangun agar permukaan airnya lebih tinggi sehingga dapat mengalir masuk ke dalam saluran air atau terowongan air.
  - c. Bendungan untuk memperlambat jalannya air (*detention dam*) adalah bendungan yang dibangun untuk memperlambat jalannya air, sehingga dapat mencegah banjir besar. Masih dapat dibagi lagi menjadi 2 (dua) bagian :
    - Berfungsi untuk menyimpan air sementara dan dialirkan kedalam saluran alam di bagian hilir.
    - Berfungsi untuk menyimpan air selama mungkin agar dapat meresap didaerah sekitarnya.
4. Tipe bendungan berdasarkan jalannya air. Ada 2 (dua) tipe yaitu :
  - a. Bendungan untuk dilewati air (*overflow dams*) adalah bendungan yang dibangun untuk dilewati air misalnya pada bangunan pelimpah.
  - b. Bendungan untuk menahan air (*non overflow dam*) adalah bendungan yang sama sekali tidak boleh dilewati air.
5. Tipe bendungan berdasarkan konstruksinya. Ada 3 (tiga) tipe yaitu :
  - a. Bendungan urugan/timbunan (*fill type dam*) adalah bendungan yang dibangun dari hasil penggalian bahan tanpa bahan tambahan lain yang bersifat campuran secara kimia, jadi betul-betul bahan pembentuk bendungan asli dapat dibagi menjadi :

- Bendungan homogen
 

Suatu bendungan urugan/timbunan digolongkan dalam tipe homogen, apabila bahan yang membentuk tubuh bendungan tersebut terdiri dari tanah yang hampir sejenis dan gradasinya (susunan ukuran butirannya) hampir seragam. Tubuh bendungan secara keseluruhannya berfungsi ganda, yaitu sebagai bangunan penyangga dan sekaligus sebagai penahan rembesan air.
- Bendungan zonal
 

Bendungan urugan/timbunan digolongkan dalam tipe zonal, apabila timbunan yang membentuk tubuh bendungan terdiri dari batuan dengan gradasi (susunan ukuran butiran) yang berbeda-beda dalam urutan-urutan pelapisan tertentu. Pada bendungan tipe ini sebagai penyangga terutama dibebankan kepada timbunan yang lulus air (zona lulus air), sedang penahan rembesan dibebankan kepada timbunan yang kedap air (zona kedap air). Berdasarkan letak dan kedudukan dari zona kedap airnya, maka tipe ini masih dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) yaitu:

  - Bendungan urutan zonal dengan tirai kedap air atau "bendungan tirai" (*front core fill type dam*) merupakan bendungan zonal dengan zona kedap air yang membentuk lereng udik bendungan tersebut.
  - Bendungan urugan/timbunan zonal dengan inti kedap air miring atau "bendungan inti miring" (*inclined-corefill type dam*) merupakan bendungan zonal yang zona kedap air berada di dalam tubuh bendungan dan berada miring ke arah hilir
  - Bendungan urugan/timbunan zonal dengan inti kedap air tegak atau "bendungan inti tegak" (*central-core fill type dam*) merupakan bendungan zonal yang zona kedap air berada di dalam tubuh bendungan dengan kedudukan vertikal. Pada umumnya inti tersebut berada di bidang tengah dari tubuh bendungan.
- Bendungan urugan/timbunan bersekat (bendungan sekat)
 

Bendungan urugan/timbunan merupakan bendungan yang dapat diklasifikasikan dalam tipe sekat (*facing*) dimana lereng udik tubuh

bendungan dilapisi dengan sekat kedap air (dengan tingkat kedap yang tinggi) seperti lembaran baja tahan karat, lembaran beton bertulang, beton aspal, susunan beton blok, hamparan plastik, dan lain-lain.

b. Bendungan beton (*concrete dam*) merupakan bendungan dengan jenis konstruksi tersusun dengan adanya tulangan maupun tidak. Ada 4 tipe bendungan beton :

- Bendungan beton dengan proporsi berat sendiri (*concrete gravity dam*) merupakan bendungan beton yang sengaja dibuat dengan cara melimpahkan beban dan gaya yang ada pada bendungan tersebut untuk menahan air.
- Bendungan beton dengan penyangga (*concrete buttress dam*) merupakan bendungan beton dengan cara membagi gaya-gaya yang bekerja pada bendungan. Bendungan ini kebanyakan digunakan untuk jenis sungai yang lebar dan kondisi geologi yang baik.
- Bendungan beton berbentuk lengkung atau busur (*concrete arch dam*) adalah bendungan beton yang direncanakan untuk menyalurkan gaya yang bekerja padanya melalui pangkal tebing (abutmen) kiri dan kanan bendungan.
- Bendungan beton kombinasi (*combination concrete dam atau mixed type concrete dam*) adalah kombinasi lebih dari satu tipe bendungan. Apabila suatu bendungan beton berdasar berat sendiri berbentuk lengkung disebut *concrete arch gravity dam* dan kemudian apabila bendungan beton merupakan gabungan beberapa lengkung, maka disebut *concrete multiple arch dam*.

6. Tipe bendungan berdasar fungsinya. Ada 8 tipe yaitu :

- a. Bendungan pengelak pendahuluan (*Primary coffer dam*) merupakan tipe bendungan pada awal lokasi rencana bendungan utama akan dibangun. Bendungan ini dibangun pada sungai dengan debit air rendah hingga kering untuk menunjang pembangunan secara teknis.
- b. Bendungan pengelak (*Coffer dam*) merupakan tipe bendungan setelah bendungan pengelak pendahuluan selesai dibangun sehingga kondisi rencana

bendungan utama benar-benar kering dalam menunjang pembangunan secara teknis.

- c. Bendungan utama (*Main dam*) merupakan tipe bendungan dimana pembangunannya memiliki satu tujuan tertentu ataupun lebih.
- d. Bendungan level tinggi (*High level dam*) merupakan tipe bendungan dengan letak pada bagian kiri atau kanan dari bendungan utama. Bendungan level tinggi memiliki tinggi puncak sama dengan bendungan utama.
- e. Bendungan di tempat rendah (*saddle dam*) merupakan tipe bendungan dengan posisi berada pada bagian tepi waduk, umumnya lokasi berada jauh dari bendungan utama dengan fungsi mencegah adanya air yang keluar dari waduk ke daerah sekitarnya.
- f. Tanggul merupakan tipe bendungan yang berada pada bagian sisi kiri atau kanan bendungan utama dengan tinggi maksimum 5 meter dan panjang mercu maksimum 5 kali tingginya.
- g. Bendungan limbah industri (*Industrial waste dam*) merupakan tipe bendungan dengan fungsi khusus yaitu sebagai penahan limbah dari kegiatan industri. Bendungan ini dibangun dengan timbunan secara bertahap.
- h. Bendungan pertambangan (*Main tailing dam*) merupakan tipe bendungan dengan proses pembangunan berasal dari hasil galian pertambangan yang dilakukan penimbunan secara bertahap. Keseluruhan bangunan bendungan pada umumnya berasal dari hasil galian pertambangan tersebut.

## **2.2 Sungai**

Sungai adalah jalur alami yang mengangkut dan menampung curah hujan dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah di permukaan bumi dan berakhir bermuara di danau maupun laut. Aliran sungai di bagian sungai yang lebih rendah atau yang biasanya disebut sebagai bagian hilir, biasanya bergerak lebih lambat daripada arus udara di bagian sungai yang tinggi atau yang biasanya disebut bagian hulu.

Material sedimen yang terbentuk dari proses erosi terbawa aliran air akan membentuk proses sedimentasi di berbagai bagian sepanjang aliran air dimana aliran air tersebut bermuara di danau atau laut. Ketika kecepatan aliran melambat

atau terhenti, sedimen yang terangkut oleh aliran air dan tercipta oleh erosi akan mengendap dengan sendirinya. Sedimentasi adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan proses pengendapan ini.

Aliran air yang melewati sungai memiliki jenis dan pola alur yang beragam. Alur sungai utama dengan cabang-cabangnya memiliki karakteristik yang bergantung pada suatu wilayah, sehingga alur sungai sangat bervariasi. Perbedaan kemiringan lereng dan struktur batuan dasar menentukan pola alur sungai pada suatu wilayah. Pola alur sungai yang umum dikenal adalah pola dendritik, radial, *rectangular*, *trellis*, *anular*, dan paralel.

### **2.2.1 Perilaku Sungai**

Di samping fungsinya sebagai saluran drainase dan dengan adanya aliran air di dalamnya, sungai berinteraksi secara dinamis dengan struktur tanah/batuan dasarnya sehingga terbentuk morfologi. Material yang terbawa aliran ke hilir merupakan beban yang terdapat dalam arus sungai, dan berangsur-angsur diendapkan sesuai kecepatan jatuh masing-masing partikel. Sehingga ukuran butiran sedimen yang mengendap di bagian hulu sungai lebih besar dari pada bagian hilirnya.

Pada definisi lain, yang diungkapkan oleh Wahono (2004), sungai memiliki perilaku yang banyak tergantung oleh kondisi lingkungannya terutama dalam skala waktu hidrologi dan karakteristik daerah alirannya. Berkaitan dengan perilaku sungai secara umum dapat dipahami bahwa sungai akan mengalirkan debit air yang sering terjadi (*frequent discharge*) pada saluran utamanya, sedangkan pada kondisi air banjir, sebagian air mengalir ke bantaranya. Hal ini akan memperbesar dimensi luasan alirannya, yaitu kedalaman aliran dan lebar aliran. Meskipun pada penampakan fisik penampang melintang sungai tidak banyak berbeda namun pada kondisi itu geometri sungai menjadi sangat kompleks termasuk tingkat kekasaran hidrolis.

### **2.2.2 Jenis Pola Aliran Sungai**

Secara umum, pola aliran sungai terbagi menjadi beberapa jenis, diantaranya adalah sebagai berikut:

#### 1. Pola Aliran Sungai Dendritik

Pola aliran yang pertama adalah dendritik. Bentuk pola dendritik seperti penampang daun atau pohon yang bercabang. Jika kita lihat, sungai dendritik punya banyak cabang dan dapat mengalir ke segala cabang tersebut. Pola aliran ini dipengaruhi oleh faktor litologi atau jenis batuan yang homogen. Sungai dendritik terdapat di daerah datar dan wilayah pantai.

#### 2. Pola Aliran Radial Sentripetal

Pola aliran berikutnya adalah aliran radial sentripetal. Bentuk aliran ini ada di daerah cekungan sehingga mata air akan mengalir ke segala arah. Pola ini punya banyak ditemukan di Amerika Serikat bagian baratnya. Kemudian, pola aliran ini bisa berkembang dan menjadi pola *annular*. Muara dari sungai ini menuju ke daerah yang lebih rendah sehingga nantinya sudah jelas akan mengalami penurunan.

#### 3. Pola Aliran Radial Sentrifugal

Pola aliran ini kebalikan dari radial sentripetal. Jenis ini juga memiliki bentuk lingkaran atau radial. Namun, bedanya adalah pola ini memiliki merambat ke segala arah. Hal ini karena mata airnya ada di dataran tinggi seperti puncak gunung. Sehingga arah alirannya disebarkan secara radial dari ketinggian tertentu. Hal ini terjadi ketika permukaan bumi memiliki bentuk cembung seperti pada gunung. Jadi, perbedaan radial sentrifugal dan radial sentripetal yaitu sentrifugal memiliki aliran sungainya yang menjauhi pusat atau menyebar. Sedangkan radial sentripetal, alirannya memusat karena mengalir ke daerah yang berbentuk cekungan.

#### 4. Pola Aliran Paralel

Model aliran sungai berikutnya adalah paralel. Sistem aliran ini terjadi di lereng pegunungan yang curam dan terjal. Karena bentuk morfologi inilah yang membuat aliran sungai berbentuk sejajar dan lurus-lurus mengikuti arah lereng. Pola aliran ini juga terjadi karena bentuk morfologi dengan lereng yang terjal sehingga membentuk cabang yang sedikit. Adanya sungai paralel ini juga disebabkan karena patahan yang besar dan memotong daerah sehingga akhirnya membentuk morfologi lereng dengan kemiringan yang seragam.

#### 5. Pola Aliran *Rectangular*

Secara umum, bentuk pola aliran ini terbentuk karena struktur geologi akibat patahan dan rekahan. Pola aliran Sungai *Rectangular* terdapat di daerah di daerah

yang memiliki batuan beku sehingga nantinya akan mengalami struktur rekahan dan patahan. Bentuk dari sungai ini seperti tegak lurus dan ini berasal dari saluran air sungai yang mengikuti struktur geologi yang sudah terbentuk. Cabang dari pola aliran ini akan berbentuk sudut tumpul sehingga terlihat sebagai siku persegi. Sungai utamanya berbentuk lurus karena mengikuti arah dan bentuk dari patahannya. Jadi, tidak heran jika nama dari pola aliran ini disebut dengan *rectangular* yang artinya persegi.

#### 6. Pola Aliran Sungai *Annular*

Jenis berikutnya adalah aliran sungai yang bisa terbentuk dari sungai radial sentripetal. Bentuk dari aliran ini menyebar secara radial dari puncak ketinggian tertentu. Bentuknya melingkar sama halnya seperti anak sungainya. Sungai *annular* biasa terbentuk di daerah kubah atau lakolit.

#### 7. Pola Aliran *Trellis*

Arti kata dari *Trellis* sendiri adalah pagar. Oleh sebab itu, sesuai dengan namanya bentuk sungai ini sama seperti pagar. Pola aliran *Trellis* terjadi karena struktur geologi sinklin dan antisinklin. Ciri-ciri dari pola aliran *Trellis* adalah arah alirannya mengikuti struktur geologi lipatan yang ada di wilayah tersebut. Aliran *Trellis* memiliki bentuk yang sejajar anak sungai. *Trellis* searah dengan kemiringan lereng dan anak sungainya tegak lurus dengan sungai utama.

Bentuk ini membuat sungai ini sama seperti bentuk pagar. *Trellis* berasal dari sungai konsekuen dan sungai subsekuen. Sungai subsekuen terbentuk dari arah aliran tegak lurus dari sungai utama. Kemudian, ada sungai konsekuen yaitu sungai yang menuruni lereng atau yang disebut sebagai sungai utama. Dari kedua sungai ini akhirnya membentuk pola aliran sungai *Trellis* atau menyerupai pagar. Sungai *Trellis* bisa Anda temukan di sepanjang lembah di lipatan pegunungan. Kemudian, di lembah sungai ini akan bergabung di ke saluran utama lalu menuju ke muara sungai.

#### 8. Pola Aliran *Pinnate*

Jenis berikutnya adalah sungai *pinnate* yaitu bentuk aliran sungai yang cenderung lengkap dibandingkan denditik. Ciri khas dari sungai ini memiliki bentuk yang sejajar dengan induk sungai. Tak hanya itu, pola sungai ini akan bermuara dan menuju induk sungai dengan bentuk atau sudut yang lancip. Sudut

ini memberikan petunjuk bahwa aliran sungai mengalir dari lereng dengan tingkat kemiringan yang tinggi. Ada beberapa contoh lereng gunung yang memiliki pola aliran ini, diantaranya adalah Gunung Tandikat, Gunung Sinabung, dan Gunung Kerinci.

#### 9. Pola Aliran *Barbed*

Ada pola sungai lainnya yang mungkin tampak asing bagi kalian. Pola *barbed* merupakan pola sungai yang ada di daerah hulu sungai dengan daerah aliran yang cukup sempit. Anak sungai nantinya akan bergabung dengan sungai utama dan akhirnya akan menuju ke hulu dengan bentuk yang lancip. Proses ini terjadi karena terjadinya pembajakan arus pada sungai. Alhasil, bentuknya seperti gunting yang terbuka.

#### 10. Pola Aliran *Deranged*

Terakhir, adalah pola aliran dengan nama *deranged*. Jenis ini memiliki bentuk yang tidak teratur dan umumnya ada di danau dan rawa. Sementara itu, cabang dari sungai ini hanya pendek saja. Pola aliran sungai nyatanya memiliki bentuk yang berbeda-beda. Model sungai dengan aliran ini dipengaruhi oleh banyak faktor yaitu kemiringan lereng, perbedaan jenis batuan, struktur batuan, dan gerakan lempeng tektonik.

### 2.3 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah daerah yang di batasi punggung-punggung gunung dimana air hujan yang jatuh pada daerah tersebut akan ditampung oleh punggung gunung tersebut dan akan dialirkan melalui sungai-sungai kecil ke sungai utama (Asdak, 1995). DAS termasuk suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan. (PP No 37 tentang Pengelolaan DAS, Pasal 1).

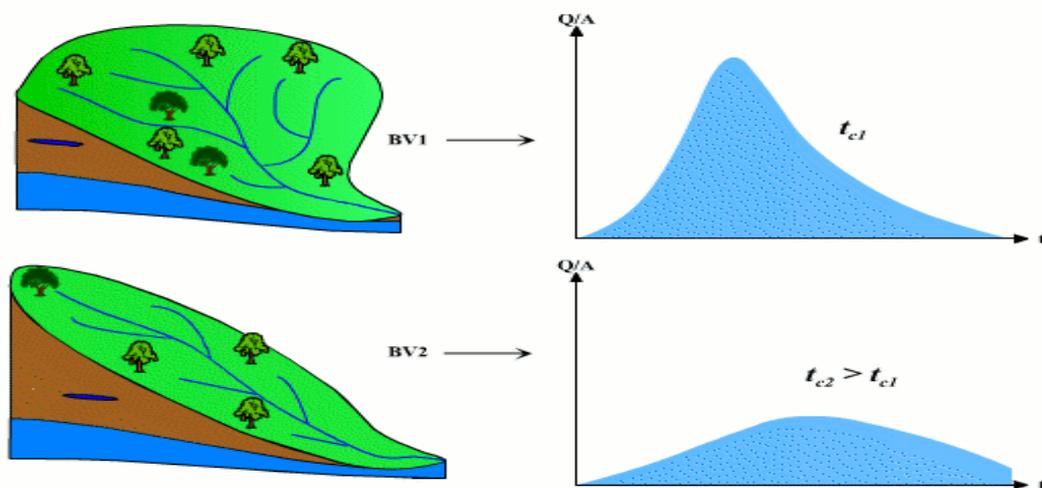
Daerah Aliran Sungai (*catchment area, basin, watershed*) adalah semua daerah dimana semua airnya yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju ke dalam suatu sungai yang dimaksudkan. Aliran air tersebut tidak hanya berupa

air permukaan yang mengalir di dalam alur sungai, tetapi termasuk juga aliran di lereng-lereng bukit yang mengalir menuju alur sungai sehingga daerah tersebut dinamakan daerah aliran sungai. Daerah ini umumnya dibatasi oleh batas topografi, yang berarti ditetapkan berdasarkan air permukaan. Batas ini tidak ditetapkan berdasarkan air bawah tanah karena permukaan air tanah selalu berubah sesuai dengan musim dan tingkat kegiatan pemakaian (Srijati *et al.*, 2017).

Konsep Daerah Aliran Sungai (DAS) menjadi pendekatan gagasan setiap perencanaan hidrologi. Mengingat DAS yang besar merupakan bagian dari DAS-DAS kecil, dan DAS kecil ini juga tersusun dari DAS-DAS yang lebih kecil lagi. Secara garis besar DAS merupakan suatu kawasan yang memiliki batas alam seperti punggung bukit atau gunung, maupun batas buatan seperti jalan atau tanggul dimana air hujan yang turun di kawasan tersebut memberi kontribusi aliran ke titik kontrol (*outlet*). Pembagian Daerah Aliran Sungai berdasarkan fungsi Hulu, Tengah dan Hilir yaitu:

- Bagian hulu pada dasarnya memiliki fungsi konservasi yang dikelola untuk mempertahankan kondisi lingkungan DAS supaya tidak mengalami degradasi. Indikasi kondisi lingkungan DAS bagian hulu tersebut antara lain kondisi tutupan vegetasi lahan DAS, kualitas air, kemampuan menyimpan air (debit), dan curah hujan.
- Bagian tengah pada dasarnya memiliki fungsi pemanfaatan air sungai yang dikelola supaya dapat memberikan manfaat bagi kepentingan sosial dan ekonomi. Indikasi kondisi lingkungan DAS bagian tengah tersebut antara lain kuantitas air, kualitas air, kemampuan menyalurkan air, dan ketinggian muka air tanah. Selain hal tersebut indikasi lainnya berada pada prasarana pengairan seperti pengelolaan sungai, waduk, serta danau.
- Bagian hilir pada dasarnya memiliki fungsi pemanfaatan air sungai yang dikelola untuk dapat memberikan manfaat bagi kepentingan sosial dan ekonomi. Indikasi kondisi lingkungan DAS bagian tengah tersebut antara lain kuantitas dan kualitas air, kemampuan menyalurkan air, ketinggian curah hujan. Selain hal tersebut indikasi lainnya berkaitan dengan kebutuhan pertanian, air bersih, dan pengelolaan air limbah.

Seiring bertambahnya luas daerah aliran sebuah sungai diakibatkan adanya pertambahan laju dan volume dari aliran permukaan tetapi besarnya aliran permukaan akan menjadi lebih kecil seiring adanya pertambahan luas daerah aliran sungai apabila dinyatakan dalam volume dan laju per satuan luas, melainkan sebagai jumlah total daerah aliran sungai. Hal ini memiliki kaitan dengan waktu yang dibutuhkan air dalam mengalir dari titik terjauh sampai ke titik kontrol (waktu konsentrasi) dan juga penyebaran atau intensitas hujan. Bentuk DAS mempunyai pengaruh pada pola aliran dalam sungai.



Gambar 2.2 Karakteristik DAS (Suripin, 2004).

Suatu DAS memiliki bentuk memanjang dan sempit cenderung akan menghasilkan laju aliran permukaan yang lebih kecil dibandingkan dengan DAS yang berbentuk melebar atau melingkar. Hal ini terjadi karena DAS yang memanjang mempunyai waktu konsentrasi yang lebih lama dibandingkan DAS yang melebar sehingga menyebabkan konsentrasi udara pada titik kendali terjadi lebih lambat. Hal ini berdampak pada volume dan laju aliran permukaan. Aliran permukaan juga dapat dipengaruhi oleh pertimbangan bentuk apabila hujan yang turun pada suatu daerah aliran sungai tidak tersebar secara merata melainkan mengalir dari satu ujung ke ujung yang lain. Pada DAS memanjang laju aliran akan lebih kecil karena aliran permukaan akibat hujan di hulu belum memberikan kontribusi pada titik kontrol ketika aliran permukaan dari hujan di hilir telah habis, atau mengecil. Sebaliknya pada DAS melebar, datangnya aliran permukaan dari

semua titik di DAS tidak terpaut banyak, artinya air dari hulu sudah tiba sebelum aliran di titik kontrol mengecil atau habis.

Pengelolaan DAS dapat disebutkan merupakan suatu bentuk pengembangan wilayah yang menempatkan DAS sebagai suatu unit pengelolaan sumber daya alam (SDA) yang secara umum untuk mencapai tujuan peningkatan produksi pertanian dan kehutanan yang optimum dan berkelanjutan (lestari) dengan upaya menekan kerusakan seminimum mungkin agar distribusi aliran air sungai yang berasal dari DAS dapat merata sepanjang tahun (SNI 3408;2015). Perubahan tutupan lahan pada DAS menyebabkan meningkatnya kecepatan aliran hujan (limpasan) yang akan menyebabkan timbulnya banjir di hilir baik durasi, frekuensi maupun kekuatannya (Aryanto, 2010).

Untuk mendapatkan data inflow, maka data yang diperlukan adalah data curah hujan, data klimatologi dan data debit aliran, yang kemudian didapat debit andalan. Selain itu perlu juga data luas DAS yang diperoleh dari peta (Febriyani dkk, 2021). Inflow waduk Margatiga, antara limpasan dan debit terukur DAS waduk dalam satu tahun mempunyai pola yang sama (Triyanto dkk, 2020). Debit limpasan bendung Argoguruh memberikan 67,10% dari volume inflow waduk Margatiga sedangkan debit pengukuran terukur di DAS waduk memberikan 32,90%. Sedangkan outflow waduk Margatiga juga mempunyai pola yang sama. Debit untuk keperluan suplai irigasi Jabung kiri sebesar 26,71%, suplai irigasi Jabung kanan 55,11%, suplai air baku 4,35% dan sisanya untuk pemeliharaan lingkungan hilir 10,95% dan kehilangan akibat evaporasi 2,84%.

#### **2.4 Debit Lingkungan dan Debit Aliran**

Debit merupakan jumlah air yang mengalir dari suatu sumber air per satuan waktu pada umumnya diukur dalam satuan liter per detik. Aliran air harus dapat mencukupi untuk dialirkan ke saluran yang telah disiapkan untuk kebutuhan irigasi. Debit adalah satuan besaran air yang keluar dari Daerah Aliran Sungai (DAS). Satuan debit yang digunakan adalah meter kubik per detik ( $m^3/s$ ). Data debit dalam suatu DAS digunakan untuk kebutuhan makhluk hidup seperti manusia, hewan dan tumbuhan. Pemodelan Hujan-Debit berfungsi untuk perencanaan dalam bidang

teknik contohnya perencanaan drainase, perencanaan waduk dan sungai (Wicaksono *et al.*, 2021)

Debit Lingkungan adalah Besaran dan durasi debit yang diperlukan untuk mempertahankan daya dukung sungai terhadap fungsi, proses dan kemanfaatan lingkungan sungai (Wahono, 2011). Terdapat dua fokus utama dalam PDL (Hatmoko, 2001) yaitu :

1. Sejumlah rejim aliran yang berhubungan dengan keberlangsungan ekosistem sungai pada berbagai kondisi
2. Pengaruh debit lingkungan yang telah ditetapkan terhadap aktivitas manusia. Salah satu hasil yang diharapkan dalam proses PDL adalah penetapan Kebutuhan Air Lingkungan (KAL) yaitu debit yang dibutuhkan dalam upaya pengelolaan kondisi lingkungan sungai yang telah ditetapkan.

Debit aliran adalah jumlah air yang mengalir dalam satuan volume per waktu. Debit aliran merupakan laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu (Asdak, 2002). Penentuan potensi sumber daya air pada suatu daerah aliran sungai memerlukan kemampuan untuk mengukur debit aliran. Menggunakan pendekatan terhadap potensi sumber daya air permukaan yang sudah tersedia, debit aliran dapat dimanfaatkan sebagai salah satu metode pemantauan dan penyaluran neraca air suatu wilayah. Debit aliran dapat dihitung dengan kombinasi data kecepatan yang diperoleh dari pengukuran kecepatan aliran menggunakan current meter dan data cross section menggunakan waterpass (Pradipta *et al.*, 2020).

Penentuan debit sungai dapat dilakukan menggunakan cara pengukuran aliran dan cara analisis. Pelaksanaan pengukuran debit sungai menggunakan metode secara langsung dan metode tidak langsung, yaitu dengan melakukan pendataan terhadap parameter alur sungai dan tanda bekas banjir. Penentuan debit sungai dipelajari dalam ilmu hidrometri dimana masalah pengukuran atau pengumpulan data dasar yang digunakan untuk analisis harus mencakup data tinggi muka air, debit dan sedimentasi. Pengukuran debit sungai ini terbagi menjadi 2 metode yaitu metode yang dilakukan secara langsung dan metode yang dilakukan secara tidak langsung.

- Pengukuran Debit Secara Langsung

Pengukuran debit dengan metode secara langsung adalah pengukuran yang dilaksanakan menggunakan peralatan antara lain alat pengukur arus (*current meter*), pelampung, zat warna, dan lain-lain. Hasil pengukuran menggunakan metode ini dapat diketahui secara langsung setelah selesai melakukan pengukuran. Luas tampang aliran dan kecepatan aliran rerata menentukan besaran aliran tiap waktu atau disebut debit. Pengukuran nilai debit dapat dilakukan dengan cara mengukur tampang aliran dan mengukur kecepatan aliran tersebut. Cara ini merupakan prosedur umum dalam pengukuran debit sungai secara langsung.

Pengukuran luas tampang aliran dilakukan dengan mengukur tinggi muka air dan lebar dasar alur sungai. Pengukuran tinggi muka air harus dilakukan pada beberapa bagian sepanjang tampang aliran untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti. Penjumlahan dan semua luasan tampang aliran yang sudah diukur tersebut dihitung dengan baik. Metode pengukuran debit aliran langsung di lapangan pada dasarnya dapat dilaksanakan melalui empat kategori.

## **2.5 Sedimen dan Sedimentasi**

Proses alami yang menghubungkan erosi, limpasan, dan sedimentasi merupakan gambaran dari suatu siklus hidrologi. Sedimen merupakan material-material yang dihasilkan dari proses erosi. Erosi tersebut dapat berupa erosi permukaan, erosi parit, dan erosi tanah lainnya. Sedimen akan mengalami pengendapan pada bagian bawah kaki bukit, daerah genangan banjir, saluran air, sungai, dan waduk. Proses pengikisan terjadi dimana air membawa material batuan atau tanah mengalir ke sungai, danau, dan akhirnya sampai di laut. Kekuatan angkut suatu aliran air akan mengalami penurunan hingga habis sehingga batuan atau tanah yang terbawa pada aliran air akan terendapkan. Terdapat urutan proses terjadinya erosi pada batuan yang dimulai dari tahap pengelupasan (*detachment*), kemudian pengangkutan (*transportation*) melalui sarana tertentu, hingga tahap terakhir yaitu pengendapan (*sedimentation*).

Sedimen adalah hasil proses erosi, baik berupa erosi permukaan, erosi parit, atau jenis erosi tanah lainnya. Sedimen umumnya mengendap di bagian bawah kaki bukit, di daerah genangan banjir, saluran air, sungai, dan waduk (Asdak,

1995). Sedimentasi merupakan proses mengendapnya material sedimen baik berupa batuan atau tanah yang disebabkan erosi, terbawa melalui aliran air.

Proses terkumpulnya butir-butir batuan atau tanah yang terjadi akibat menurunnya kecepatan aliran air dimana kecepatan aliran air mencapai kecepatan pengendapan (*settling velocity*) disebut sedimentasi. Proses sedimentasi berada pada sepanjang aliran air sebagai media pengangkut material, proses tersebut terjadi pada lahan-lahan pertanian maupun di sepanjang dasar sungai, dasar waduk, muara, dan lain-lain.

Karakteristik hujan, kemiringan lereng, tanaman penutup, serta kemampuan tanah untuk menyerap dan melepas air ke dalam lapisan tanah dangkal merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya erosi. Dampak erosi tanah dapat menyebabkan bencana seperti banjir dimana material erosi mengalami proses sedimentasi di sungai sehingga dapat mengurangi daya tampung sungai. Ketika daya tampung sungai semakin berkurang maka aliran air akan melebihi luasan penampang sungai dan air meluap di luar penampang sungai. Hasil Sedimen (*sedimen yield*) adalah besarnya sedimen yang berasal dari erosi yang terjadi di daerah tangkapan air yang diukur pada periode waktu dan tempat tertentu. Hasil sedimen biasanya diperoleh dari pengukuran sedimen yang terlarut dalam sungai (*suspended sediment*) atau dengan pengukuran langsung di waduk (Asdak 2002).

Proses sedimentasi pada suatu sungai meliputi proses erosi, transportasi, pengendapan dan pemadatan dari sedimentasi itu sendiri (Sudira, 2013). Proses sedimentasi yang terjadi di sungai disebabkan adanya proses pengendapan konsentrasi sedimen pada aliran sungai yang bersumber dari hasil erosi di bagian hulu sungai. Material sedimen yang terbawa dari hulu sungai tersebut akan terendapkan di bagian tengah maupun hilir sungai. Hal ini berlaku juga pada saluran-saluran irigasi di suatu bendung yang dilewati oleh aliran sungai. Kerusakan daerah aliran sungai menyebabkan meningkatnya angkutan sedimen yang terbawa aliran ke dalam saluran irigasi. Kecepatan aliran rendah pada sungai akan menyebabkan terjadinya proses pengendapan pada saluran irigasi tersebut. Penumpukan material yang berlangsung terus menerus sehingga endapan semakin banyak hingga terbentuk delta. Proses sedimentasi dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian yaitu :

1. Proses sedimentasi secara geologis, sedimentasi secara geologis merupakan proses sedimentasi yang berawal dari erosi tanah secara normal atau terjadi karena faktor alami berupa degradasi dan aggradasi pada permukaan kulit bumi. Proses tersebut pada umumnya masih dalam batas yang wajar karena merupakan bagian dari siklus pelapukan.
2. Proses sedimentasi yang dipercepat, sedimentasi yang dipercepat adalah proses sedimentasi yang dipercepat oleh aktivitas lain. Berbeda dengan proses secara geologi yang bersifat alami, proses sedimentasi ini biasanya lebih mengganggu keseimbangan alam atau kelestarian lingkungan alam karena sifatnya yang merusak. Proses sedimentasi yang dipercepat dikarenakan kegiatan manusia yang tidak tepat dalam pengelolaan tanah sehingga erosi tanah menjadi semakin tinggi dan sedimentasi juga tinggi.

Muatan dasar (*bed load*) dan muatan melayang (*suspended load*) merupakan dua jenis muatan dari material sedimen yang terbawa aliran air. Muatan dasar (*bed load*) merupakan material sedimen dengan pergerakan berupa bergulir, meluncur, maupun meloncat-loncar tepat di atas permukaan dasar sungai. Sedangkan muatan melayang (*suspended load*) merupakan material sedimen berupa butiran-butiran halus yang ukurannya lebih kecil dengan pergerakan melayang di dalam air (Sosrodarsono & Tominaga, 1985). Erosi merupakan mekanisme pengikisan atau kelongsoran material yang sesungguhnya bagian dari proses penghanyutan tanah oleh desakan-desakan atau kekuatan air dan angin baik yang berlangsung secara alamiah maupun sebagai akibat tindakan atau perbuatan manusia (Kartasapoetra & Sutedjo, 1991).

Salah satu faktor pembatas terhadap kapasitas tampungan efektif waduk adalah tingkat sedimen yang mengalami pengendapan di waduk, sehingga Tingkat jumlah material endapan sedimen di waduk dapat menjadi parameter menetapkan masa guna waduk (*life time storage*). Perkiraan masa guna waduk tersebut dapat dihitung lebih akurat, kelestarian serta keamanan waduk dan bendungan dapat terlaksana seperti yang sudah direncanakan, maka dibutuhkan beberapa data pengetahuan dan analisis yang komprehensif mengenai sedimentasi waduk. Analisis tersebut berupa analisis untuk memprediksi laju sedimentasi (*sediment yield rate*), jumlah sedimen yang bertahan di waduk, maupun teknik eksploitasi

waduk untuk mengatasi masalah sedimen, serta masalah sosial dan lingkungan yang berkaitan dengan sedimentasi waduk.

Peningkatan sedimentasi yang semakin lama pada akhirnya akan berakibat pengurangan kapasitas saluran air atau sungai. Hal tersebut mempengaruhi kemampuan sebuah sungai dalam menampung debit aliran air yang melewatinya. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses sedimentasi berupa faktor kondisi fisiografi dan hidroklimatologi daerah tangkapan, aktivitas dan perilaku pemanfaatan lahan di kawasan tangkapan serta pola operasi dari waduk. Sedimentasi merupakan produk akhir dari rangkaian proses erosi lempeng (*sheet erosion*) yang berada pada permukaan tanah dan erosi alur (*gully erosion*) yang terangkut oleh media air.

Erosi lempeng yang dikombinasikan dengan erosi alur disebut sebagai erosi bruto (*gross erosion*). Hasil erosi dari batuan tidak terangkut semua sampai sungai karena sebagian material hasil erosi mengalami pengendapan pada saluran drainase, sungai, dan bantaran. Hasil sedimentasi (*sediment yield*) merupakan hasil erosi yang terangkut pada tempat pengukuran di hilir. Sedangkan laju sedimen rata-rata (*sediment yield rate*) merupakan pengukuran laju sedimen per satuan luas daerah aliran sungai atau DAS.

Berbagai faktor dapat menjadi penyebab terjadinya perbedaan hasil perkiraan laju sedimentasi, seperti kemungkinan terjadinya adanya pergantian tata guna lahan pada daerah tangkapan air (*catchment area*) atau data yang digunakan dalam analisis tidak memadai. Menurut Soewarno (1991), bahwa besarnya volume angkutan sedimen terutama tergantung dari kecepatan aliran, karena perubahan musim hujan dan kemarau, serta perubahan kecepatan yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia. Pada penentuan kesehatan sungai, faktor seperti laju sedimen dasar sungai berpengaruh terhadap bio-indikator khususnya makroinvertebrata sehingga merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kondisi ekosistem sungai sehat (Putra *et al.*, 2021).

Terjadinya proses penggerusan pada beberapa tempat dan terjadinya proses pengendapan di tempat lain pada dasar saluran irigasi merupakan akibat dari perubahan volume angkutan sedimen, maka dari itu volume air yang terbawa berkurang seiring dengan perubahan dimensi dimensi dari saluran tersebut.

Berbagai percobaan di lapangan maupun di laboratorium hidrolika dilakukan untuk mendapatkan variasi rumus dalam memperkirakan perubahan tersebut.

Pada dasar dari sebuah sungai pada umumnya terbentuk oleh endapan yang berasal dari material angkutan sedimen terbawa oleh aliran sungai dan material sedimen dapat terangkut kembali ketika kecepatan aliran cukup tinggi. Perubahan musim dari kemarau menuju musim hujan mempengaruhi perubahan kecepatan aliran sehingga terjadi perubahan besar volume angkutan sedimen. Selain itu, aktivitas manusia juga dapat mempengaruhi perubahan kecepatan aliran. Akibat dari perubahan volume angkutan sedimen adalah terjadinya penggerusan pada beberapa tempat serta terjadinya pengendapan di tempat lain pada dasar sungai, sehingga bentuk dasar sungai selalu berubah (Soewarno).

Material sedimen yang masuk ke dalam area waduk (*sediment yield*) sangat dipengaruhi oleh faktor fisiografi dan hidroklimatologi daerah tangkapan. Sedangkan jumlah dari material sedimen yang mengalami pengendapan di waduk selain bergantung pada jumlah sedimen yang masuk dan jenis sedimen akan dipengaruhi pula oleh bentuk dan dimensi waduk serta pola operasi waduk. Faktor yang menyebabkan banyaknya sedimen yang masuk ke waduk tergantung pada jumlah sedimen yang diproduksi oleh daerah tangkapan waduk. Beberapa kondisi fisiografi lahan daerah tangkapan yang akan mempengaruhi produksi sedimen antara lain:

- Tipe tanah permukaan dan formasi geologi
- Karakteristik sedimen (ukuran butir dan kandungan mineral)
- Karakteristik hidraulik sistim alur
- Penutup lahan daerah tangkapan
- Tataguna lahan daerah tangkapan
- Laju erosi lahan daerah tangkapan
- Topografi lahan daerah tangkapan
- Morfologi sungai
- Kerapatan jaringan drainase
- Sistem alur

Proses erosi menuju proses sedimen yang dihasilkan sebagian akan diangkut melalui sistem alur menuju waduk. Sebagian hasil erosi lainnya akan diangkut ke tempat yang lebih rendah, tertampung untuk sementara waktu sebelum pada akhirnya akan diangkut lagi oleh sistem alur untuk menuju ke terminal akhir proses deposisi.

Parameter penting yang ditinjau dari kondisi hidroklimatologi berpengaruh dalam terjadinya proses sedimentasi di waduk adalah tingkat curah hujan (jumlah dan intensitas), kondisi iklim pada daerah tangkapan, begitupula respons terjadinya hujan di arah tangkapan aliran yang diakibatkan dari sistim alur.

Seperti halnya fenomena longsor, perbedaan interaksi antara hujan (masing-masing hujan memiliki karakteristik) dengan permukaan tanah akan menyebabkan variasi erosi pada setiap kawasan. Karakteristik hujan dapat dilihat dari intensitas tingkat curah hujan dalam sehari, bahkan dalam hitungan jam.

### **2.5.1 Jenis – Jenis Sedimentasi**

Jenis sedimentasi dapat terbagi menjadi dua menurut proses endapan dan lokasi endapan. Berikut ini merupakan penjelasan lengkap dan rincian dari dua jenis sedimentasi :

#### **1. Jenis Sedimentasi Berdasarkan Proses Endapan**

##### **- Sedimen Akuatis**

Sedimen akuatis adalah sedimen yang memiliki endapan berasal dari dari air dapat berupa *Meander* yaitu sungai yang berkelok, *Oxbow Lake* yaitu kelokan sungai atau meander yang terpisah dari aliran sungai, Delta yaitu endapan sedimen oleh air sungai, dan tanggul alam apabila terdapat volume air meningkat dengan cepat.

##### **- Sedimen Marine**

Sedimen marine adalah sedimen yang memiliki endapan berasal dari proses pengendapan air laut yang disebabkan oleh pengaruh gelombang. Beberapa contoh sedimen marine dapat berupa pesisir, *spit*, tombolo, dan penghalang pantai.

- Sedimen Aeolis

Sedimen aeolis adalah sedimen yang memiliki endapan berasal dari proses pendendapan oleh angin, biasanya berupa bukit pasir (*sand dune*). Akumulasi pasir dalam jumlah yang banyak dengan kombinasi tiupan angin yang kuat akan menghasilkan gundukan pasir. Angin dapat menjadi perantara dalam mengangkut dan mengendapkan material pasir di suatu tempat secara bertahap dan menghasilkan timbunan pasir yang disebut *sand dune*.

- Sedimen glasial

Sedimen glasial adalah sedimen yang memiliki endapan berasal dari gletser yaitu timbunan material pada lembah.

## 2. Jenis Sedimentasi Berdasarkan Lokasi Endapan

Jenis sedimentasi menurut lokasi endapannya dapat terbagi menjadi sedimen Terrestrial, sedimen Fluvial, sedimen Limnis, sedimen Marine, dan sedimen Lakustris.

- Sedimen Terrestrial: Pengendapan di daratan atau dataran banjir
- Sedimen Fluvial: Pengendapan di dasar sungai yang berakibat pada pendangkalan sungai
- Sedimen Limnis: Pengendapan di daerah rawa-rawa
- Sedimen Lakustris: Pengendapan di dasar danau
- Sedimen Marine: Pengendapan di perairan laut

### 2.5.2 Pergerakan Angkutan Sedimen

Keseimbangan antara kecepatan pada partikel (gaya Tarik dan gaya angkat) dan kecepatan pengendapan partikel menentukan pergerakan sedimen pada sebuah aliran. Terdapat 3 (tiga) jenis pergerakan angkutan sedimen yaitu diantaranya (Ronggodigdo, 2011):

#### 1. *Bed Load Transport*

Partikel kasar yang bergerak di sepanjang dasar sungai secara keseluruhan disebut dengan *bed load*. Adanya *bed load* ditunjukkan oleh gerakan partikel di dasar sungai yang ukurannya besar, gerakan itu dapat bergeser, menggelinding atau meloncat-loncat, akan tetapi tidak pernah lepas dari dasar sungai. Pada kondisi ini pengangkutan material terjadi pada aliran yang

mempunyai kecepatan aliran yang relatif lambat, sehingga material yang terbawa arus sifatnya hanya menggelinding sepanjang saluran.

2. *Wash Load Transport*

*Wash load* merupakan jenis pergerakan dengan angkutan material sedimen berbutir halus seperti lempung dan debu terbawa oleh aliran sungai. Aliran sungai membawa material tersebut hingga sampai ke laut atau beberapa tempat dengan kecepatan aliran tenang maupun air yang tergenang. Hasil pelapukan lapisan atas batuan atau tanah yang terbawa oleh aliran sungai pada umumnya menghasilkan sumber utama material sedimen dari tipe pergerakan *wash load*. Pada kondisi ini pengangkutan material terjadi pada aliran yang mempunyai kecepatan aliran yang relatif cepat, sehingga material yang terbawa arus membuat loncatan-loncatan akibat dari gaya dorong pada material tersebut.

3. *Suspended Load Transport*

*Suspended load* merupakan material dasar sungai (*bed material*) yang melayang berada pada aliran dan pada umumnya terdiri dari butir pasir halus yang mengalami pergerakan mengambang di atas dasar sungai, karena selalu didorong ke atas oleh turbulensi aliran. Jika kecepatan aliran semakin cepat, gerakan loncatan material akan semakin sering terjadi sehingga apabila butiran tersebut tergerus oleh aliran utama atau aliran turbulen ke arah permukaan, maka material tersebut tetap bergerak (melayang) di dalam aliran dalam selang waktu tertentu.

Sifat-sifat sedimen adalah sangat penting di dalam mempelajari proses erosi dan sedimentasi. Sifat-sifat tersebut, antara lain ukuran partikel dan distribusi butir sedimen, rapat masa, bentuk, kecepatan endap, tahanan terhadap erosi, dan sebagai (Triatmodjo,1999).

### **2.5.3 Proses Sedimentasi**

Batuan sedimen atau *Sedimentary Rock* adalah batuan yang memiliki genesis dari hasil pengendapan batuan lain atau dari proses kimia maupun organisme secara alami. Permukaan bumi tersusun dengan dominasi batuan sedimen yang mencapai 75% dari keseluruhan penyusunnya, tetapi batuan sedimen hanya 2% jika dibandingkan volume seluruh kerak bumi. Berdasarkan data tersebut, batuan

sedimen memiliki cakupan yang sangat luas di permukaan bumi namun dari tingkat ketebalan relatif sangat tipis. Batuan sedimen memiliki variasi yang banyak bergantung pada faktor ukuran butir yang berasal dari proses pengendapan atau sedimentasi.

Proses sedimentasi merupakan suatu proses terbentuknya batuan sedimen yang diawali dengan terbawanya material sedimen oleh media (air, angin, es, atau gletser), kemudian mengalami pengendapan pada suatu tempat. Material sedimen pada umumnya diendapkan pada daerah yang berbentuk cekung. Material ini akan mengalami pengendapan setelah menempuh jarak tertentu, hal ini karena seiring jauhnya menempuh jarak tertentu, tenaga pengangkut material akan semakin menurun. Delta merupakan contoh terjadinya pengendapan material sedimen yang dibawa oleh aliran air dimana berada di mulut-mulut sungai. Proses sedimentasi ini akan berbeda-beda, sesuai dengan tenaga pengangkutnya dan tempat pengendapannya.

#### **2.5.4 Karakteristik Sedimen**

##### **1. Gradasi**

Gradasi atau disebut juga susunan butir merupakan gambaran distribusi dari ukuran agregat material sedimen. Distribusi ukuran butir pada material sedimen beragam, sehingga secara umum dapat dibedakan menjadi tiga yaitu gradasi sela (*gap grade*), gradasi menerus (*continous grade*) dan gradasi seragam (*uniform grade*).

Gradasi agregat dapat dibedakan atas :

- a) Gradasi seragam (*uniform graded*) merupakan jenis susunan butir atau agregat dengan ukuran butir yang hampir seragam. Gradasi seragam pada umumnya akan menghasilkan gradasi terbuka (*open gradasi*) dikarenakan susunan antar butir dalam bantuan hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga terdapat banyak rongga/ ruang kosong antar agregatnya.
- b) Gradasi rapat (*dense graded*) merupakan jenis susunan butir atau agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar hingga halus. Gradasi ini pada umumnya menghasilkan susunan butir yang menerus sehingga sering juga disebut gradasi menerus atau gradasi baik (*well graded*).

c) Gradasi senjang (*gap graded*) merupakan jenis susunan butir atau agregat dimana ukuran agregat yang ada kurang lengkap atau ada fraksi agregat yang jumlahnya sedikit sekali bahkan tidak ada sama sekali. Campuran beraspal adalah contoh dari gradasi ini yang memiliki kualitas peralihan dari keadaan campuran dengan gradasi yang disebutkan di atas.

## 2. Ukuran butir sedimen

Sedimen yang masuk ke waduk dapat berasal dari berbagai jenis angkutan sedimen, baik pergerakan angkutan dasar (*bed load*), pergerakan angkutan melayang (*suspended load*), maupun pergerakan angkutan *wash load*. Dengan demikian ukuran butiran sedimen yang masuk ke waduk juga akan bervariasi. Sedimen dengan ukuran besar serta butiran lepas akan mengendap lebih cepat pada bagian hulu waduk atau di sekitar muara sungai yang masuk ke waduk, sedangkan ukuran yang relatif lebih halus akan diendapkan di bagian waduk yang lebih dalam atau bahkan di daerah dekat bangunan pengambilan ataupun bangunan keluaran bawah. Sedimen dengan butiran lebih halus akan bergerak secara suspensi ke bagian hilir waduk dan akan mengendap pada lokasi di dekat bendungan.

Karakteristik sedimen yang paling utama adalah ukuran butir maka dari itu parameter ukuran butir banyak digunakan dalam sebuah persamaan transport sedimen maupun analisis lainnya.

Ukuran butiran direpresentasikan :

- a. Diameter bola yang dianggap sama dengan volume butiran dinyatakan dalam diameter nominal ( $d_n$ );
- b. Diameter bola memiliki berat jenis spesifik sebesar 2,65 dimana memiliki kecepatan jatuh butir standar dinyatakan dalam diameter jatuh (*fall velocity*);
- c. Diameter bola yang memiliki berat serta kecepatan endapan butir sedimen dalam suatu zat cair dan kondisi yang sama dapat dinyatakan diameter sedimen; dan
- d. Diameter saringan merupakan parameter yang paling banyak digunakan dalam pengukuran ukuran butir dimana ukuran butir dengan saringan standar. Pengukuran ukuran butir dilakukan dengan cara menggunakan diameter butir

lebih besar dari 0,0625 mm sesuai dengan diameter saringan standar yang paling kecil.

Terdapat klasifikasi ukuran butir yang digunakan dalam penelitian maupun para ahli hidraulika yaitu klasifikasi AGU (*American Geophysical Union*) seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1. Material seragam (*uniform*) merupakan material sedimen yang memiliki tingkat penyebaran kecil dan ukuran butir relatif sama dalam sebuah fraksi. Sedangkan material tidak seragam (*nonuniform*) merupakan material sedimen yang memiliki tingkat penyebaran besar.

**Tabel 2.1** Klasifikasi Ukuran Butiran Berdasarkan AGU (*American Geophysical Union*)

Interval/range (mm)	Nama	Interval/range (mm)	Nama
4096 - 2048	Batu sangat besar ( <i>Very Large Boulders</i> )	1/2 - 1/4	Pasir sedang ( <i>Medium Sand</i> )
2048 - 1024	Batu besar ( <i>Large Boulders</i> )	1/4 - 1/8	Pasir halus ( <i>Fine Sand</i> )
1024 - 512	Batu sedang ( <i>Medium Boulders</i> )	1/8 - 1/16 (s/d 0.0625 mm)	Pasir sangat halus ( <i>Very Fine Sand</i> )
512 - 256	Batu kecil ( <i>Small Boulders</i> )	1/16 - 1/32	Lumpur kasar ( <i>Coarse Silt</i> )
256 - 128	Kerakal besar ( <i>Large Cobbles</i> )	1/32 - 1/64	Lumpur sedang ( <i>Medium Silt</i> )
128 - 64	Kerakal kecil ( <i>Small Cobbles</i> )	1/64 - 1/128	Lumpur halus ( <i>Fine Silt</i> )
64 - 32	Kerikil sangat kasar ( <i>Very Coarse Gravel</i> )	1/128 - 1/256	Lumpur sangat halus ( <i>Very Fine Silt</i> )
32 - 16	Kerikil kasar ( <i>Coarse Gravel</i> )	1/256 - 1/512	Lempung kasar ( <i>Coarse Clay</i> )
16 - 8	Kerikil sedang ( <i>Medium Gravel</i> )	1/512 - 1/1024	Lempung sedang ( <i>Medium Clay</i> )
8 - 4	Kerikil halus ( <i>Fine Gravel</i> )	1/1024 - 1/2048	Lempung halus ( <i>Fine Clay</i> )
4 - 2	Kerikil sangat halus ( <i>Very Fine Gravel</i> )	1/2048 - 1/4096	Lempung sangat halus ( <i>Very Fine Clay</i> )
2 - 1	Pasir sangat kasar ( <i>Very Coarse Sand</i> )		Koloid
1 - 1/2	Pasir kasar ( <i>Coarse Sand</i> )		

(Sumber : Garde & Raju, 1985)

### 3. Bentuk Butir Sedimen

Bentuk butir sedimen adalah karakteristik dari sedimen yang sangat mempengaruhi proses transportasi material sedimen tersebut. Bentuk butir dapat mengindikasikan bagaimana material sedimen terangkut dan terbawa oleh media transport. Bentuk butir sedimen dapat diklasifikasikan berdasarkan koefisien atau parameternya menjadi 3 jenis yaitu :

#### a) *Sphericity*

*Sphericity* merupakan parameter yang banyak digunakan dalam mengartikan bentuk butir berdasarkan dari volume butir tersebut.

- *Sphericity* dengan nilai satu (1) diberikan untuk bentuk butir sedimen yang berbentuk bola.
- Semakin menjauhi bentuk bola maka nilai *sphericity* akan semakin berkurang atau kurang dari nilai satu.

b) *Roundness*

*Roundness* merupakan parameter yang digunakan untuk mendefinisikan proyeksi luasan bentuk butir sedimen. *Roundness* juga disebut tingkat atau derajat kebolaan dari permukaan butir sedimen.

- Parameter *roundness* dapat menunjukkan tingkat keruncingan ujung-ujung butir sedimen.
- Semakin runcing ujung butir sedimen maka diklasifikasikan sebagai *very angular*, sedangkan semakin tumpul maka diklasifikasikan *well rounded*.

c) *Shape factor*

*Shape factor* merupakan parameter yang digunakan dengan cara menghitung nilai-nilai sumbu *triaxial* yang saling tegak lurus, yaitu sumbu panjang a, sumbu menengah b, sumbu pendek c.

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

- Nilai *shape factor* diberikan untuk ukuran butir sedimen berbentuk bola adalah satu, sedangkan untuk ukuran butir yang menjauhi bentuk bola maka nilainya semakin berkurang dari 1.
- *Shape factor* mempengaruhi besar kecilnya hambatan aliran CD.

$$CD = \frac{24 \mu}{WdP} = \frac{24}{Re} \dots\dots\dots(2)$$

4. Volume Dan Berat Jenis Sedimen

Berat volume (*specific weight*) sedimen merupakan pengukuran dari berat butir partikel sedimen setiap satu satuan volume. Selain berat volume terdapat berat jenis (*specific gravity*) yaitu perbandingan antara berat butir sedimen terhadap berat volume air (Sosrodarsono & Tominaga, 1985). Berat jenis sedimen banyak diasumsikan sekitar sekitar 2,65, tetapi untuk material sedimen tertentu yang mengandung material lain seperti magnetit memiliki berat jenis 5,18.

## 5. Kandungan Mineral

Kandungan mineral sedimen yang masuk ke waduk sangat bervariasi, tergantung pada karakteristik tanah penutup serta aktivitas pemanfaatan lahan di daerah tangkapan. Daerah tangkapan dengan tekstur tanah lempungan akan menyebabkan endapan yang masuk ke waduk berupa sedimen dengan kandungan mineral lempung cukup menonjol. Demikian juga sebaliknya, daerah tangkapan yang banyak didominasi oleh tanah dengan struktur lepas dan non-kohefif akan menyebabkan sedimen waduk kurang mempunyai sifat lempungan.

### 2.5.5 Sifat-Sifat Material Sedimen

Sifat material sedimen mempengaruhi proses pengangkutan dan pengendapan, sehingga tidak hanya bergantung pada sifat aliran saja. Sifat-sifat di dalam proses sedimentasi terdiri dari sifat-sifat partikelnya dan sifat sedimen secara keseluruhan. Sifat material sedimen sangat bergantung dari tingkat ukuran butir sedimen tersebut.

#### 1. Ukuran Partikel

**Tabel 2.2 Klasifikasi Ukuran Partikel (Van Rijn, 1993)**

Ukuran	Klasifikasi	Keterangan
$D < \mu \text{ m}$	Koloid	Sella terlarut
$0,5 \mu \text{ m} < D < 5 \mu \text{ m}$	Lempung	Kadang-kadang atau sebagian terlarut
$5 \mu \text{ m} < D < 64 \mu \text{ m}$	Lanau	Tidak terlarut – berkrystal terpisah
$64 \mu \text{ m} < D < 2 \text{ mm}$	Pasir	Pecahan batu
$2 \text{ mm} < D$	Kerikil, bongkah	Pecahan batu.

#### 2. Bentuk Partikel

Bentuk dari sedimen alam beraneka ragam. Di samping ukuran butir, bentuk partikel juga penting, karena ukuran partikel sedimen itu sendiri belum cukup untuk menjelaskan karakteristik butir-butir sedimen. Suatu partikel yang pipih mempunyai harga kecepatan endap yang lebih kecil dan akan lebih sulit untuk terangkut dibanding dengan suatu partikel yang bulat seperti muatan dasar.

Sifat-sifat yang paling penting dan berhubungan dengan angkutan sedimen adalah bentuk dan kebulatan butir (van Rijn dalam Sudira *et al.*, 2013). Bentuk butiran dinyatakan dalam kebulatannya yang didefinisikan sebagai perbandingan daerah permukaan yang bulat dengan volume yang sama dari butiran dengan daerah permukaan partikel.

Daerah permukaan sulit ditentukan dan isi butiran relatif kecil, sehingga Wadell mengambil pendekatan untuk menyatakan kebulatan. Kebulatan dinyatakan sebagai perbandingan diameter suatu lingkaran dengan daerah yang sama terhadap proyeksi butiran dalam keadaan diam pada ruang terhadap bidang yang paling besar terhadap diameter paling kecil atau dengan kata lain kebulatan digambarkan sebagai perbandingan radius rata-rata kelengkungan ujung setiap butir terhadap radius lingkaran yang paling besar (daerah proyeksi atau bagian bagian butir melintang).

Bentuk partikel dinyatakan sebagai faktor bentuk (SF), (van Rijn, 1993) yaitu:

$$SF = c/(ab)^{1/2} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:      a : sumbu terpanjang  
                   b : sumbu menengah  
                   c : sumbu terpendek

untuk partikel berbentuk bola mempunyai faktor bentuk  $SF = 1$ , sedangkan untuk pasir alam  $SF = 0,7$ . Pengaruh bentuk terhadap karakteristik hidraulik dari partikel /butiran (yaitu kecepatan jatuh ataupun hambatan) tergantung pada angka Reynold.

### 3. Rapat Massa (*density*)

Pada umumnya sedimen berasal dari disintegrasi atau dekomposisi dari pada batu-batuan, baik yang diakibatkan oleh angin atau air, yaitu :

- Lempung/*clay* adalah fragmen-fragmen dari feldspar dan mika
- Lanau/*silt* adalah silikat
- Pasir adalah kuarsa
- Kerikil adalah pecahan-pecahan yang cukup berarti dari batu asal
- Batu bongkah/*boulders* adalah segala komponen dari batu asal (batu-batu besar)

Rapat massa butiran-butiran sedimen (< 4 mm) bervariasi dengan selisih harga yang tidak banyak berbeda. Rapat massa kuarsa dan material lempung rata-

rata dapat diambil  $s = 2650 \text{ kg/cm}^3$ , karena merupakan material yang paling banyak terdapat dalam sedimen alam (Juliano *et al.*, 2021).

Untuk lempung karbonat, rapat massa mungkin lebih kecil dan berkisar antara  $2500 - 2700 \text{ kg/cm}^3$ . Bila dinyatakan sebagai rapat massa spesifik ( $s$ ), yang merupakan perbandingan rapat massa sedimen dan rapat massa air, maka besarnya  $= s/a = 2,65$ .

#### 4. Kecepatan Jatuh (*fall Velocity*)

Kecepatan jatuh suatu partikel merupakan suatu parameter yang sangat berkaitan dengan sedimentasi. Kecepatan jatuh butiran ditentukan dengan persamaan keseimbangan antara gaya berat dan hambatan aliran :

$$\frac{\pi}{6} D^3 (\rho_s - \rho_a) g = C_d \frac{1}{2} \rho_a w^2 \frac{\pi}{4} D^2 \dots\dots\dots (2)$$

Gaya Berat                      Gaya Hambatan

$$w^2 = \frac{\frac{\pi}{6} D^3 (\rho_s - \rho_a) g}{C_d \frac{1}{2} \rho_a \frac{\pi}{4} D^2} \dots\dots\dots (3)$$

$$w^2 = \frac{4}{3} \frac{g D \Delta}{C_d} \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

- $w$  = Kecepatan jatuh butiran
- $C_d$  = Koefisien hambatan (*drag coefficient*)
- $\Delta$  =  $(\rho_s - \rho_a) / \rho_a$

Harga  $C_d$  tergantung dari bilangan Reynolds dan bentuk dari partikel

$$(R_c = W.D/\gamma \text{ dan } SF = c/(ab)^{1/2}.$$

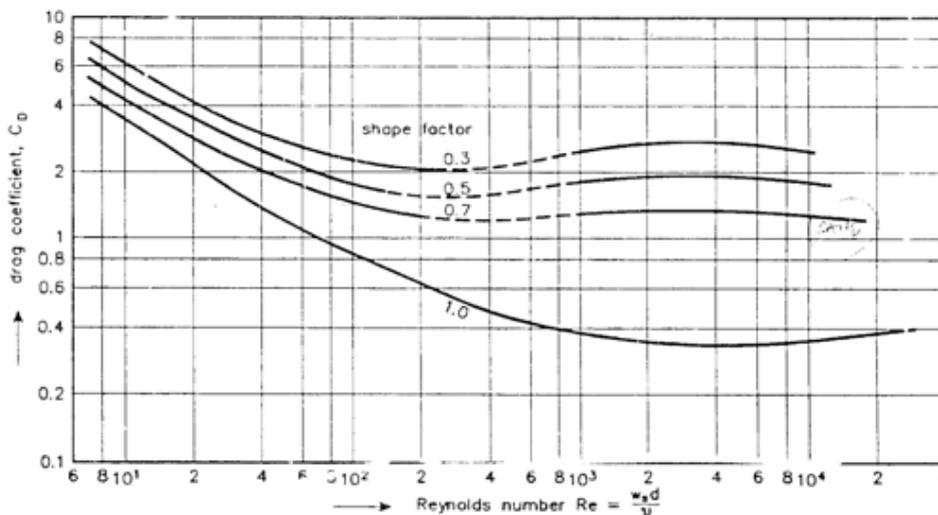
untuk partikel berbentuk bola dan bilangan Reynold rendah ( $Re < 1$ ) (koefisien hambatan didaerah stokes adalah  $C_d = 24/Re$ ), rumus di atas menjadi :

$$w = \frac{(\rho_s - \rho_a)}{18\eta} g D^2 = w^2 = \frac{\Delta g D^2}{18\nu} \text{ Hukum Stokes} \dots\dots\dots (5)$$

untuk bilangan Reynolds yang besar, harga  $C_d$  menjadi konstan yang bervariasi seperti :

$$(\Delta g D)^{1/2} \dots\dots\dots(6)$$

Oleh karena itu harga  $w$  bervariasi dengan  $D^{1/2}$  sampai 2. Hubungan antara  $C_d$ ,  $Re$  dan  $SF$ , diberikan oleh Albertson (1953) yang disitasi oleh Sudira *et al.*, (2013) dan dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar berikut.



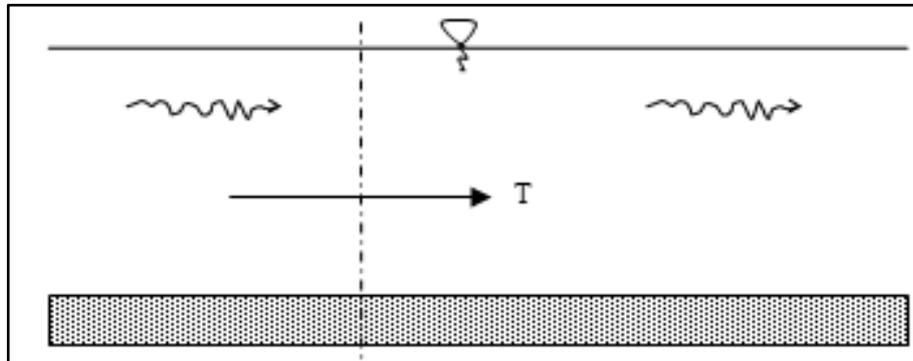
Gambar 2. 3 Hubungan Antara Koefisien Hambatan Terhadap Bilangan Reynolds Untuk Faktor yang Berbeda (Albertson (1953) dalam Sudira *et al.*, (2013)

### 2.5.6 Mekanisme Angkutan Partikel

Mekanisme angkutan partikel sedimen sangat dipengaruhi oleh aliran air yang menghasilkan gaya-gaya yang bekerja pada material sedimen yang diangkat oleh aliran air tersebut. Mekanisme angkutan partikel merupakan kondisi Ketika butiran sedimen dalam aliran bergerak, hal ini disebabkan gaya-gaya yang bekerja telah melewati suatu nilai tertentu atau melampaui kondisi kritis.

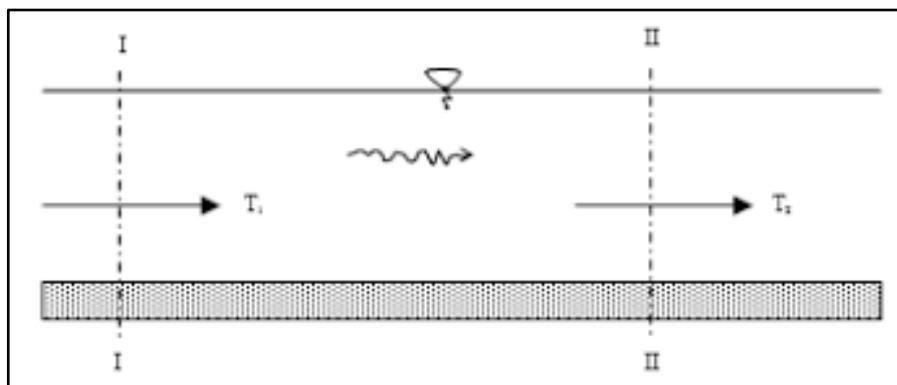
Parameter aliran pada kondisi kritis berupa nilai tegangan geser ( $T_0$ ), nilai kecepatan aliran ( $U$ ) juga mencapai kondisi kritis (sumber: skripsi kajian perubahan pola gerusan pada tikungan sungai akibat penambahan debit). Menurut (Mardijikoen, 1987), angkutan sedimen merupakan perpindahan tempat dari material sedimen granular (nonkohesif) oleh air yang sedang mengalir searah aliran. Perpindahan material sedimen dari suatu tempat melalui tampang melintang selama

periode waktu yang cukup menentukan banyaknya sedimen T. Lihat Gambar 2.4. T dinyatakan dalam (berat, massa, volume) tiap satuan waktu.



Gambar 2.4 Tampang Panjang Saluran Dengan Dasar Granuler (Mardjikoen, 1987).

Kuantitas sedimen yang terangkut dalam proses pada umumnya merupakan penambahan atau pengurangan nilai laju sedimen dalam kondisi seimbang (*aquilibrium*). Apabila terjadi perubahan nilai laju sedimen maka akan terjadi proses erosi (*erosion*) atau pengendapan (*deposition*). Proses sedimentasi di dasar saluran dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Angkutan Sedimen Pada Tampang Panjang Dengan Dasar Granuler. (Mardjikoen, 1987).

Gerakan butir sedimen dapat terbagi menjadi beberapa kondisi atau peristiwa sebagai berikut :

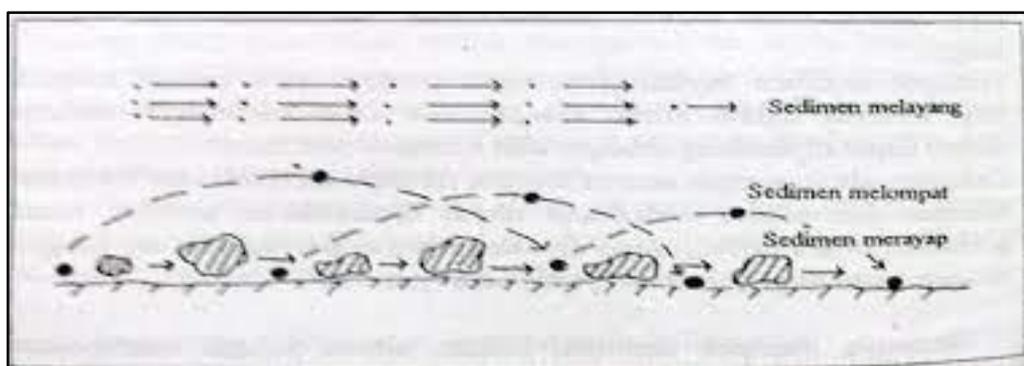
1. Satu butiran bergerak,
2. Beberapa (sedikit) butiran bergerak,
3. Butiran bersama-sama bergerak dari dasar, dan
4. Kecenderungan pengangkutan butiran yang ada sampai habis.

Awal pergerakan butiran sedimen berkaitan dengan tiga faktor sebagai berikut :

1. Kecepatan aliran yang ada serta diameter atau ukuran butiran;
2. Nilai dari gaya angkat yang lebih dasar dari nilai gerak berat butiran; dan
3. Nilai dari gaya geser kritis.

Muatan sedimen dasar (*bed load*) merupakan material sedimen dengan bentuk kasar yang bergerak berada pada dasar sungai secara keseluruhan. Muatan sedimen dasar dapat dilihat dari bagian dasar sungai, secara umum material sedimen akan bergerak karena aliran yang mendorong material tersebut. Gerakan muatan sedimen dasar berupa merayap, menggelinding, maupun meloncat-loncat, namun tidak pernah bergerak ke atas meninggalkan dasar sungai. Gerakan yang ada pada muatan sedimen dasar cenderung dapat sampai jarak tertentu dengan ditandai bercampurnya butiran partikel tersebut bergerak ke arah hilir.

Menurut (Asdak, 1995), terjadinya proses transportasi sedimen merupakan kondisi material sedimen sudah masuk dalam badan sungai sehingga transport sedimen berlangsung. Kecepatan transpor ditentukan dari tingkat kecepatan aliran sungai dan nilai ukuran material sedimen. Material sedimen yang berukuran sangat kecil atau halus seperti tanah liat dan debu akan terangkut oleh aliran dalam bentuk terlarut (*wash load*), kemudian untuk partikel yang lebih besar daripada itu seperti pasir menggunakan mekanisme pengangkutan melayang (*suspended load*). Material sedimen yang lebih besar dari pasir, seperti kerikil (*gravel*) akan menggunakan mekanisme pengangkutan dengan cara merayap atau menggelinding (*bed load*) seperti Gambar 2.6.



Gambar 2.6 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 transpor sedimen.

#### 1. Angkutan Sedimen

Penjelasan keadaan aliran yang terjadi dalam aliran turbulen dilakukan dengan metode empiris. Parameter-parameter yang penting antara lain, tegangan geser pada dasar, kedalaman air dan kekasaran dasar. Pembagian gerakan partikel dalam aliran sebagian besar juga ditentukan secara empiris, sehingga pada kenyataannya hanya ada sedikit dasar teoritis yang memberikan hubungan antara aliran dan angkutan sedimen.

Sebagian besar pengetahuan yang ada didapat dari percobaan dan argumentasi fisik yang umum. Untuk gerak mula partikel, gambaran yang logis dapat dijelaskan sebagai berikut pada harga yang lebih besar dari tegangan geser pada dasar, angkutan sedimen akan bertambah dan akan terjadi deformasi bentuk dasar. Karena deformasi juga tergantung pada waktu dan alam selalu berubah, realitasnya suatu keadaan seimbang sukar tercapai.

#### 2. Komposisi dan Macam Angkutan Sedimen

Komposisi angkutan muatan material dasar (*bed material transport*) terdiri dari angkutan muatan dasar (*bed load*) dan angkutan muatan layang (*suspended load*). Tingkat pergerakan angkutan muatan material dasar ditentukan oleh kondisi hidraulik aliran setempat dan dapat dihitung dengan rumus-rumus angkutan yang tersedia, Penetapan rumus yang akan digunakan harus terlebih dahulu dibandingkan dengan hasil pengamatan/pengukuran langsung banyaknya sedimen di sungai yang ditinjau pada beberapa keadaan debit sungai.

Proses pengangkutan sedimen dalam aliran dan atau gelombang yang paling dominan adalah pada bagian yang dekat dengan dasar. Oleh karena itu sangat

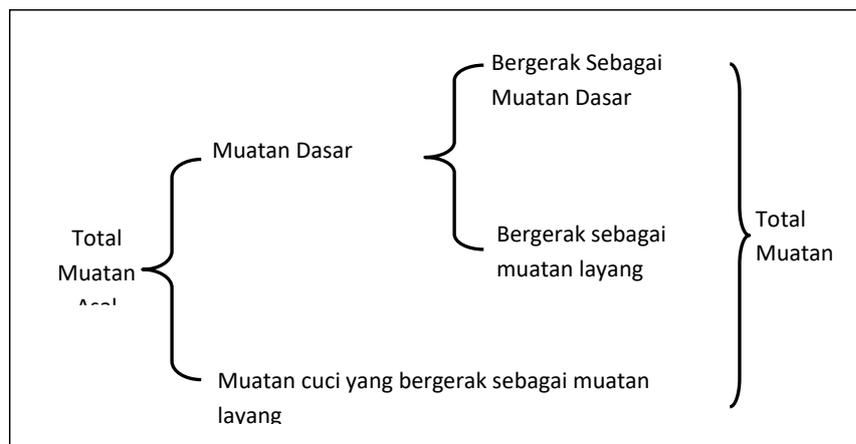
penting untuk mengetahui besar dan arah dari kecepatan aliran dan tegangan geser pada bagian dekat dasar dalam kaitannya juga dengan terjadinya bentuk dasar atau pada keadaan dasar yang rata. Berdasarkan mekanisme dari angkutan dapat dibedakan dua macam angkutan

- a. muatan dasar (*bed load*), yaitu pergerakan partikel yang berhubungan dengan dasar dengan cara berguling, meluncur dan meloncat.
- b. muatan layang (*suspended load*), yaitu pergerakan partikel dalam pusaran aliran. Kecenderungan partikel untuk mengendap diimbangi dengan gerak difusi dari aliran turbulen.

Berdasarkan asalnya material angkutan dapat dibedakan dua macam angkutan

- 1) Muatan material dasar (*bed material transport*), yang berasal dari dasar, berarti bahwa angkutan ini ditentukan oleh keadaan dasar dan aliran (dapat terdiri dari muatan dasar dan muatan layang). Angkutan ini mempengaruhi perubahan morfologi sungai, baik aggradasi maupun degradasi.
- 2) Muatan cuci (*wash load*), yang berasal dari erosi daerah aliran sungai dan tidak berhubungan dengan kondisi aliran hidraulik setempat. Angkutan ini dipengaruhi oleh angkutan yang sangat halus dengan diameter  $< 50 \mu m$ . Sedimen jenis ini tidak berpengaruh terhadap perubahan morfologi sungai dan hanya diperhitungkan pada pedangkalan/pengendapan di waduk.

(Sudira *et al.*, 2013), menuliskan pembagian sedimen yang telah ditetapkan sesuai dengan ISO-standards (ISO 4363), yaitu:



**Gambar 2.7 Ragam Endapan Menurut ISO-Standards (ISO 4363).**

### 3. Angkutan Material Dasar Sungai

Material dasar sungai (*bed material*) adalah muatan dasar (*bed load*) dan muatan layang (*suspended load*), karena kedua muatan ini dipengaruhi oleh pengendapan dan penggerusan dasar sungai. Dari hasil pengamatan di lapangan dan beberapa percobaan telah diketahui bahwa hubungan antara angkutan sedimen dengan keadaan aliran adalah tegangan geser dasar (*bed shear stress*) yang terdiri dari tegangan geser yang diakibatkan oleh kekasaran butir dan oleh bentuk dasar.

Berdasar pengamatan ternyata diketahui bahwa proses pengangkutan dan keadaan aliran sangat bergantung pada kekasaran butir, karena sangat menentukan gerak mula partikel. Apabila kita mengukur kedalaman air ( $h$ ) dan kemiringan dasar ( $I$ ) akan menghasilkan tegangan geser total, sehingga harga tegangan geser total ini harus direduksi untuk mendapatkan tegangan geser yang mempunyai kaitan (relevan) dengan angkutan sedimen. Untuk perhitungan laju angkutan sedimen, umumnya digunakan faktor koreksi (reduksi) yang disebut *ripple factor* =  $\mu$ , yaitu:

$$\mu = \frac{\tau'}{\tau} = \left( \frac{C}{C'} \right)^2; \tau = \rho ghI \dots\dots\dots (7)$$

## 2.6 Laju Pengangkutan Sedimen

Laju pengangkutan sedimen merupakan besarnya sedimen yang diukur sesaat. Jika debitnya tidak berubah secara cepat, maka satu kali pengukuran laju pengangkutan sedimen saja sudah cukup untuk menentukan laju rata-rata dalam satu hari. Tetapi jika debitnya berubah dengan secara cepat dan laju sedimennya tinggi, maka diperlukan beberapa pengukuran untuk menentukan laju harian rata-rata secara lebih teliti (Soemarto, 1987).

Laju sedimentasi merupakan peristiwa pengendapan material batuan yang terangkut oleh tenaga air atau angin. Proses ini terjadi melalui dua tahap. Tahap pertama pada saat pengikisan, air membawa batuan mengalir ke sungai, danau, dan akhirnya sampai di laut. Tahap selanjutnya pada saat kekuatan pengangkutannya berkurang atau habis, batuan mengendap di daerah aliran air. Hal ini juga dapat disebut sebagai transpor sedimen (Rifardi, 2012).

Perhitungan laju sedimentasi dilakukan dimaksudkan untuk mengetahui besarnya angkutan sedimen yang mungkin masuk ke dalam waduk. Pada

umumnya endapan sedimen waduk dapat berasal dari hasil erosi langsung daerah tangkapan airnya atau dari longsor tebing yang ada di sekitar waduk. Laju sedimentasi yang berasal dari hasil erosi lahan atau longsor tebing harus dihitung atau diperkirakan berdasarkan hasil survei tentang adanya potensi longsor atau adanya pelapukan batuan pada daerah tangkapan air yang secara intensif akan mengakibatkan terjadinya erosi lahan dan masuk ke dalam daerah genangan.

Erosi yang disebabkan oleh air dijelaskan oleh Foster dan Meyer dalam bukunya yang berjudul *Soil Erosion and Sedimentation by Water, An Overview*. Dalam buku ini dijelaskan bahwa erosi terjadi meliputi proses berikut:

1. *Detachment* atau pelepasan partikel-partikel tanah. *Detachment* tersebut merupakan akibat timpaan-timpaan titik-titik curah hujan yang menimpa permukaan tanah.
2. *Transportation* atau penghayutan partikel-partikel tanah
3. *Deposition* atau pengendapan partikel-partikel yang telah terhanyutkan

Shen (1971) mengemukakan bahwa partikel sedimen diangkut oleh aliran air dengan salah satu atau kombinasi dari mekanisme pengangkutan yang terdiri atas:

1. Penyerapan (*surface creep*), yaitu proses partikel sedimen bergerak menggelinding atau menggeser di atas dasar sungai.
2. Saltasi, yaitu proses partikel sedimen bergerak dengan melompat-lompat di atas dasar sungai dan ada kalanya berhenti kemudian melompat lagi.
3. Suspensi, yaitu proses partikel sedimen selama bergerak didukung oleh fluida di sekitarnya sehingga tidak bersentuhan dengan dasar sungai.

Menurut (Mardijikoen, 1987), banyaknya transpor sedimen (yang dinyatakan dalam berat, massa, atau volume persatuan waktu) dapat ditentukan dari perpindahan tempat neto dari bahan yang melalui suatu penampang lintang selama periode waktu yang cukup. Faktor-faktor sungai terdiri atas beban bilas, beban layang, dan beban alas. Beban bilas terdiri atas partikel-partikel yang sangat halus dan koloid, yang mengendap sangat lambat, meskipun dalam air tenang sekalipun. Jenis bahan ini didapatkan dari bahan alas dalam jumlah yang sangat sedikit, jadi jumlahnya sangat terbatas.

Beban layang dan beban alas kadang dikelompokkan bersama dan disebut beban bahan alas, karena terbentuk oleh partikel-partikel yang terdapat pada bahan

alas dalam jumlah yang besar. Beban layang didefinisikan sebagai sedimen yang tidak pernah berada di alas alur sungai (tidak termasuk bebas bilas), selama dalam kondisi aliran.

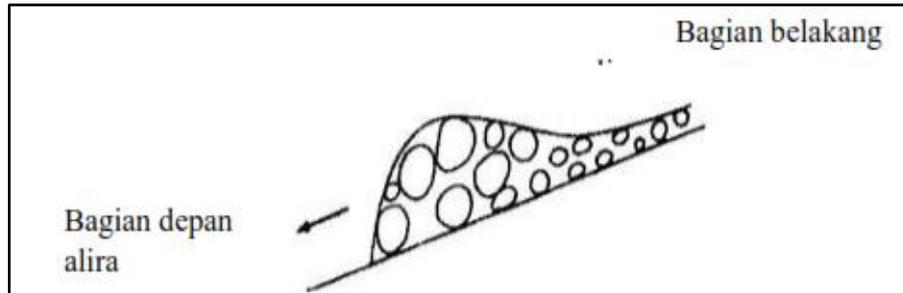
Menurut Mardijikoen (1987), untuk mencari besarnya nilai beban bilas, beban layang, dan bebas alas, digunakan beberapa rumus.

1. Meyer-Peter dan Muller (1934), untuk menghitung beban alas
2. Einstein (1950) telah menurunkan rumus-rumus untuk menentukan beban alas dengan meninjau kemungkinan gerakan butir, menyamakan konsentrasi untuk menjadi bahan perhitungan dari beban layang
3. Frijlink O.B.E. (1952)

### **2.6.1 Mekanisme Pergerakan Sedimen**

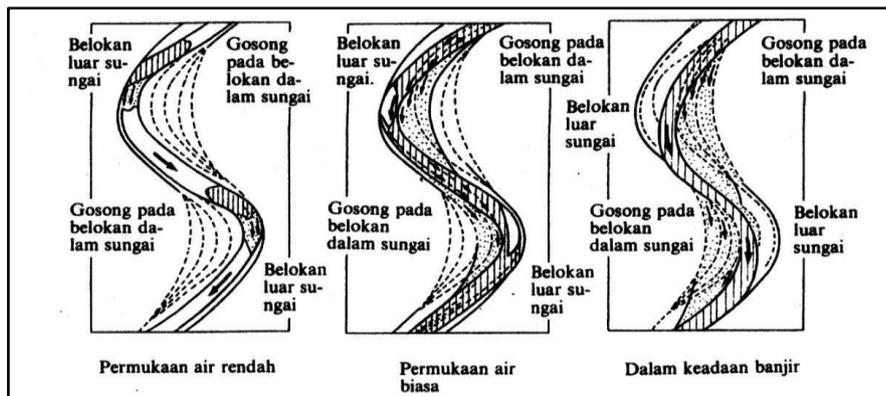
Sungai adalah jalur aliran air di atas permukaan bumi yang selain mengalirkan air, juga mengangkut sedimen yang terkandung dalam air Sungai tersebut. Gerakan butiran tanah atau butiran pasir secara individual akibat tertimpa titik-titik hujan atau terdorong aliran air dalam alur-alur kecil tersebut gerakan fluvial (*fluvial movement*). Gaya – gaya yang menyebabkan bergeraknya butiran kerikil yang terdapat di atas 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 di dalam alur sungai arus deras (*torrent*) yang kemiringan dari  $15^{\circ}$ .



**Gambar 2.8 Bentuk Banjir Lahar yang Mengandung Batu-Batu (Batu-Batu Besar Berkonterasi di Bagian Depan dan Kerikil Ukuran Kecil Terdapat Dibagian Belakang Aliran) Sudarsono dan Tominaga (2008).**

Kemampuan transpor sendiri dipengaruhi oleh debit, kecepatan aliran rata-rata, kemiringan (*slope*), tegangan geser dan karakteristik sedimen. Agar tidak terjadi aggradasi dan degradasi harus diciptakan kondisi seimbang dalam suatu sungai. Kondisi seimbang suatu sungai akan terjadi apa bila terjadi suplai sedimen (dominan dari DAS) sama dengan kapasitas transpor sedimen sistem sungai.



**Gambar 2. 9 Progres Gerakan Sedimen dan Perpindahan Daerah Pengendapan Karena Terjadinya Perubahan Muka Air (Sudarsono dan Tominaga, 2008**

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Studi Literatur

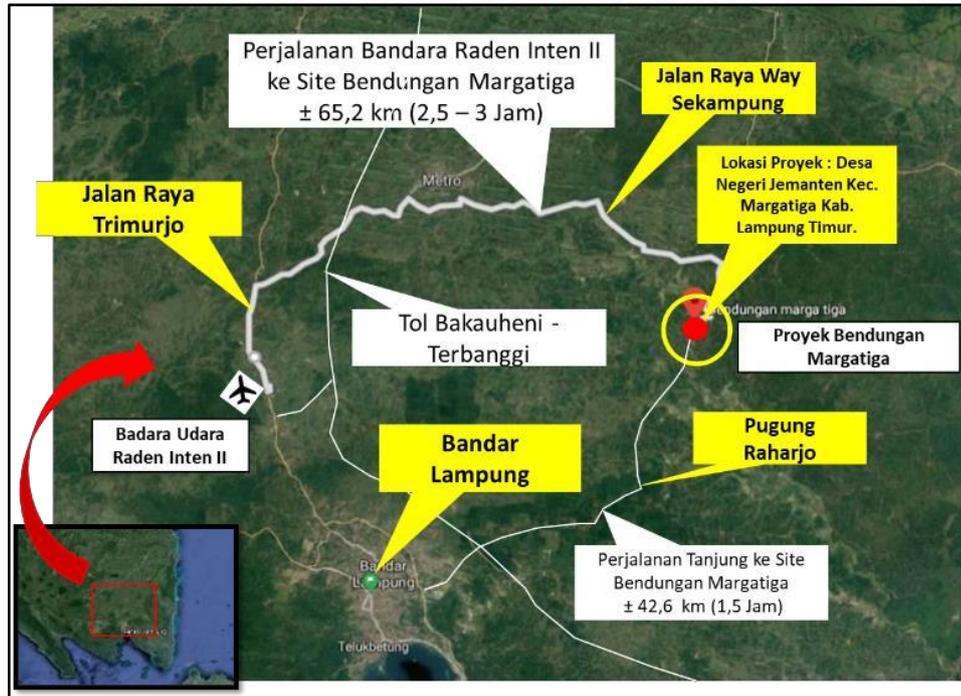
Studi literatur berupa pembelajaran mengenai hal-hal yang berkaitan dengan laju sedimentasi pada waduk dan daerah aliran sungai suatu wilayah. Mediana dapat berupa buku, tesis, jurnal, artikel, dan *paper*.

#### 3.2 Lokasi Penelitian

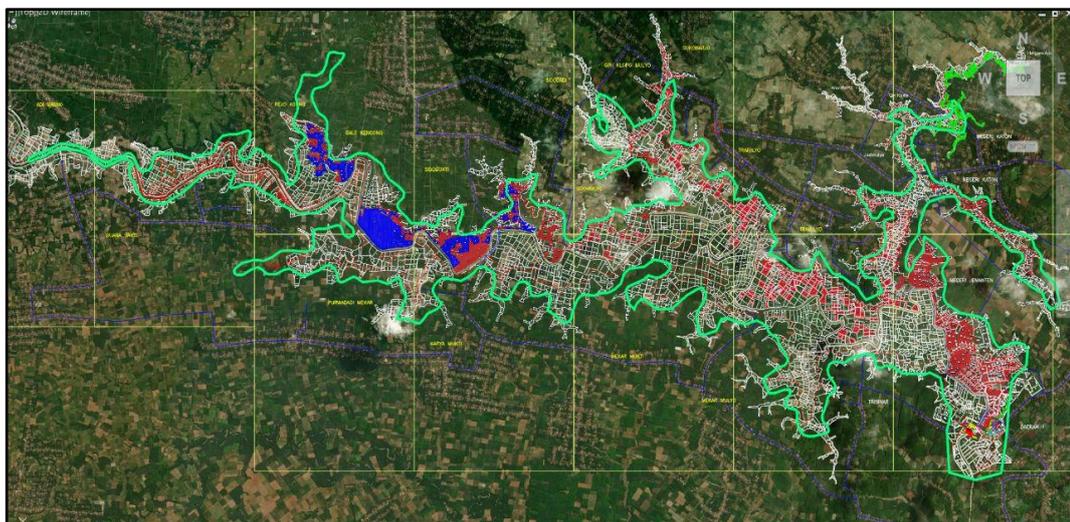
Penelitian dilakukan di Bendungan Margatiga, Kec. Margatiga, Kab Lampung Timur. Secara geografis Bendungan Margatiga berada pada  $105^{\circ} 26' 26''$  BT -  $105^{\circ} 39' 30''$  BT dan  $5^{\circ} 27' 22''$  LS sampai  $5^{\circ} 35' 38''$  LS. Secara administratif Wilayah ini berada di desa Negeri Jumanten Kecamatan Margatiga Kabupaten Lampung Timur.



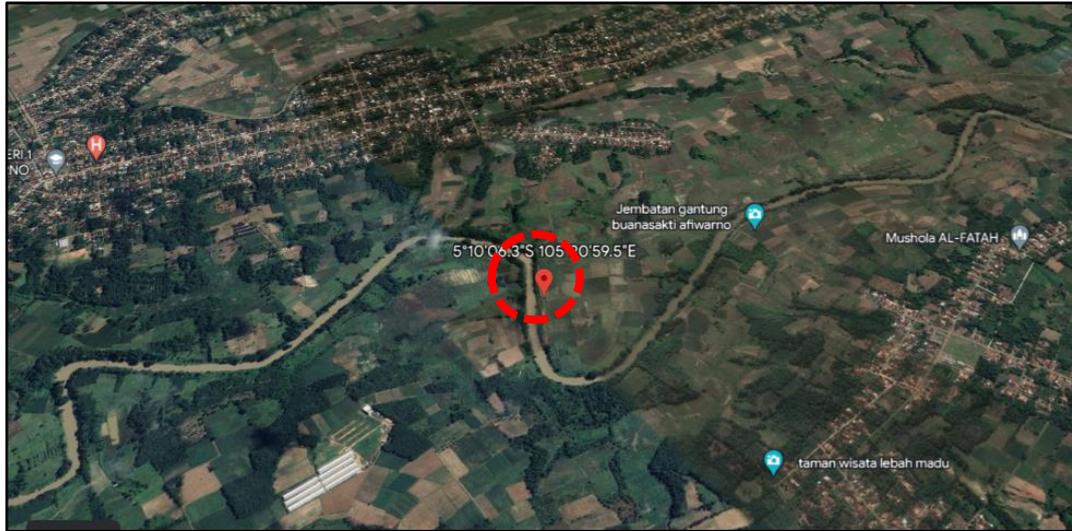
Gambar 3.1 Lokasi Bendungan Margatiga.



**Gambar 3.2 Arah Perjalanan Bendungan Margatiga.**



**Gambar 3.3 Area Genangan Bendungan Margatiga.**



**Gambar 3.4 Lokasi Penelitian 5°10'06.3\"S 105°20'59.5\"E.**

### **3.3 Metode Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yaitu metode yang memenuhi kaidah- kaidah ilmiah dengan data penelitian berupa angka-angka dan analisis menggunakan statistik atau model (Sugiyono, 2009). Penentuan titik lokasi pengambilan sampel sedimen menggunakan metode *purposive sampling* yaitu pengambilan sampel pada beberapa titik yang mewakili keadaan keseluruhan wilayah yang dikaji (Hadi dan Sutrisno, 1982).

Penentuan titik lokasi ini dibagi menjadi beberapa luasan area. Penentuan titik lokasi ini dibagi menjadi beberapa luasan area yang mewakili Sungai Way Sekampung dengan jumlah 3 titik lokasi penempatan *sediment trap*. Hasil yang di dapat dari penelitian ini dapat menggambarkan kondisi laju sedimentasi di perairan Sungai Way Sekampung yang menuju ke hilir sungai di Bendungan Margatiga, Lampung Timur.

Kegiatan di lapangan terdiri dari pengambilan sampel sedimen dan pengukuran penampang sungai (lebar dan kedalaman). Pengambilan sampel sedimen dan pengukuran penampang sungai dilakukan pada alur sungai. Sampel sedimen yang diambil adalah sedimen dasar (*bedload*) dan sedimen melayan (*suspended load*) pada tiga bagian penampang sungai, yaitu sisi tengah dan sisi pinggir (belokan dalam dan belokan luar pada sungai yang berbelok).

### 3.3.1. Pengambilan dan Pengolahan Sampel Laju Sedimentasi

Debit merupakan jumlah air yang mengalir di dalam saluran atau sungai per unit waktu. Metode yang umum diterapkan untuk menetapkan debit sungai adalah metode profil sungai (*cross section*). Pada metode ini debit merupakan hasil perkalian antara luas penampang vertikal sungai (profil sungai) dengan kecepatan aliran air. Debit sungai sesaat diukur dengan menggunakan data luas penampang sungai dan kecepatan aliran sungai.

Data penampang sungai diketahui dengan mengukur kedalaman sungai menggunakan tongkat bambu berskala. Setelah mendapatkan data kedalaman sungai dilakukan perhitungan lebar sungai menggunakan *roll meter* untuk mendapatkan hasil luas penampang sungai. Hasil luas penampang selanjutnya dikalikan dengan kecepatan arus sungai sehingga diperoleh debit sesaat. Dapat menggunakan persamaan :

$$Q = A \times V \quad (1)$$

Keterangan :

Q : debit sungai (m<sup>3</sup>/s)

A : luas penampang sungai (m<sup>2</sup>)

V : kecepatan rata-rata aliran sungai (m/s)

### 3.3.2 Kegiatan Lapangan

Kegiatan di lapangan terdiri dari pengambilan sampel sedimentasi dan pengukuran penampang sungai (lebar dan kedalaman). Pengambilan sampel sedimentasi dan pengukuran dilakukan pada alur sungai yang menuju area genangan pada Bendungan Margatiga. Sampel sedimentasi yang diambil adalah sedimen layang pada tiga bagian penampang sungai, yaitu sisi tengah dan sisi pinggir (belokan dalam dan belokan luar pada sungai yang berbelok).

Selain itu diambil pengambilan data laju sedimentasi menggunakan *sediment trap*. Pengambilan sampel menggunakan alat *sediment trap* yang diletakkan di dasar perairan dengan titik yang telah ditentukan. Menurut (Hariadi *et al.*, 2017) bentuk dari *sediment trap* berbentuk silinder berupa pipa paralon dengan diameter 10 cm dan tinggi 50 cm. Tahapan pengambilan dan pengolahan laju sedimentasi yaitu alat

*sediment trap* diletakkan di dasar perairan pada lokasi penelitian yang telah ditentukan yaitu pada  $5^{\circ}10'06.3''S$   $105^{\circ}20'59.5''E$  yaitu 600 m dari lokasi genangan Bendungan Margatiga. Berikut Gambar dokumentasi pengambilan sampel pada lokasi penelitian.



Menurut (Hariadi *et al.*, 2017) bentuk dari *sediment trap* berbentuk silinder berupa pipa paralon dengan diameter 10 cm dan tinggi 50 cm. Tahapan pengambilan dan pengolahan laju sedimentasi yaitu alat *sediment trap* diletakkan di dasar perairan.

Laju sedimentasi dapat ditentukan dengan menggunakan metode (Buchanan, 1984). Tahapan yang dilakukan dalam pengolahan sampel sedimen yaitu:

1. Alat trap diletakkan di dasar perairan pada lokasi penelitian yaitu  $\pm$  600 m dari area genangan pada  $5^{\circ}10'06.3''S$   $105^{\circ}20'59.5''E$  mewakili sedimentasi di muara sungai
2. Sampel sedimentasi yang diambil adalah sedimen layang pada tiga bagian penampang sungai, yaitu sisi tengah dan sisi pinggir dengan perbedaan elevasi muka air

3. Letakkan *Sediment Trap* pada lokasi penelitian dan lakukan pengukuran pada penampang sungai dengan durasi pembagian waktu yaitu pagi, siang dan sore
4. Sampel sedimen pada *Sediment Trap* kemudian dimasukkan ke dalam botol sampel serta diberi nomor.
5. Sampel diendapkan selama 24 jam, setelah itu air yang dalam botol dipisahkan dari endapan.
6. Sampel sedimen yang sudah dikeringkan ditimbang sebanyak 100 gram.
7. Sampel sedimen yang sudah ditimbang diayak menggunakan *sieve shaker* dengan saringan berukuran 2 mm, 0,5 mm, 0,312 mm, 0,125 mm, dan 0,063 mm. Pengayakan dilakukan selama 10 menit.
8. Pisahkan sampel sedimen masing-masing ukuran dengan menggunakan plastik yang telah ditimbang terlebih dahulu, lalu timbang kembali berat plastik yang telah dimasukkan sampel sedimen.
9. Sampel sedimen yang lolos saringan ukuran 0,063 mm dari *sieve shaker* dipindahkan dalam gelas ukur volume 1000 ml yang sudah berisi akuades, lalu diaduk secara homogen kemudian dilakukan pemipetan sesuai dengan waktu pemipetan yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3. 1 Jarak Tenggelam dan Waktu Pemipetan**

No	Waktu (Jam Menit Detik)	Jarak Tenggelam (cm)	Diameter (cm)
1	00 : 00 : 58	20	0.0625
2	00 : 01 : 56	10	0.0312
3	00 : 07 : 44	10	0.0156
4	00 : 31 : 00	10	0.0078
5	02 : 03 : 00	10	0.0039

(Sumber : Buchan (1984) dalam Holme dan McIntyre (1984))

10. Pemipetan dilakukan dengan cara mengambil larutan sedimen dengan pipet volume sebanyak 10 ml, kemudian dituang ke dalam botol percontohan yang ditimbang sebelumnya
11. Terhadap hasil pemipetan setiap ukuran butir 0,0625 mm, 0,0312 mm, 0,0156 mm, 0,0078 mm dan 0,0039 mm dilakukan penimbangan berat

sedimen yang telah diambil dengan pipet untuk menghitung berat bersih dari sedimen tersebut.

12. Hasil pengayakan dan pemipetan selanjutnya digunakan untuk penentuan jenis sedimen di tiap lokasi berdasarkan sistem persamaan segitiga Shepard.
13. Kemudian hasil pemipetan masing–masing diameter dilakukan penyaringan menggunakan kertas saring milipore 0,45  $\mu\text{m}$ , yang sebelumnya sudah dibasahi dengan akuades. Hasil tersebut dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105° C selama 5 menit dan kemudian ditimbang. Penyaringan dilakukan dengan pompa hisap (*vacum pump*).
14. Hasil dari penyaringan kemudian di oven selama 5 menit pada suhu 105° C.
15. Sampel sedimen serta kertas saring yang sudah kering lalu ditimbang dan catat hasilnya.

### **3.3.3 Analisis Data**

Kegiatan laboratorium terdiri dari analisa saringan (*shive analysis*), berat jenis dan berat volume tanah. Analisa saringan dimaksudkan untuk menentukan jenis material sedimen berdasarkan butiran. Dari pengujian ini didapatkan jumlah dan distribusi ukuran sedimen dengan menggunakan saringan yang sesuai dengan standar ASTM D 422. Pengujian berat volume dilakukan melalui dua pengujian, yaitu berat volume lepas dan berat volume padat.

Pengujian berat jenis sedimen dilakukan berdasarkan SNI 1964:2008. Standar ini menetapkan prosedur uji untuk menentukan berat jenis tanah lolos saringan 4,75 mm (no.4) menggunakan alat piknometer. Apabila tanah mengandung partikel lebih besar dari saringan No.4, maka bagian tertahan saringan No.4 diuji sesuai dengan SNI 031969-1990.

Perhitungan laju sedimentasi didapatkan dari hasil pengolahan data laju sedimentasi dari laboratorium, kemudian dilakukan perhitungan secara matematis menggunakan rumus APHA 1976 ((Hariadi *et al.*, 2017)) :

$$\begin{aligned}
\text{Laju sedimentasi} &= A - B / \text{luas/minggu (gram/m}^2\text{/minggu)} \\
&= \left(\frac{10.000}{\pi r^2}\right) \cdot (A - B) \text{ (gram/m}^2\text{/minggu)} \\
&= \left(\frac{10}{\pi r^2}\right) \cdot (A - B) \text{ (kg/m}^2\text{/minggu)}
\end{aligned}$$

Keterangan :

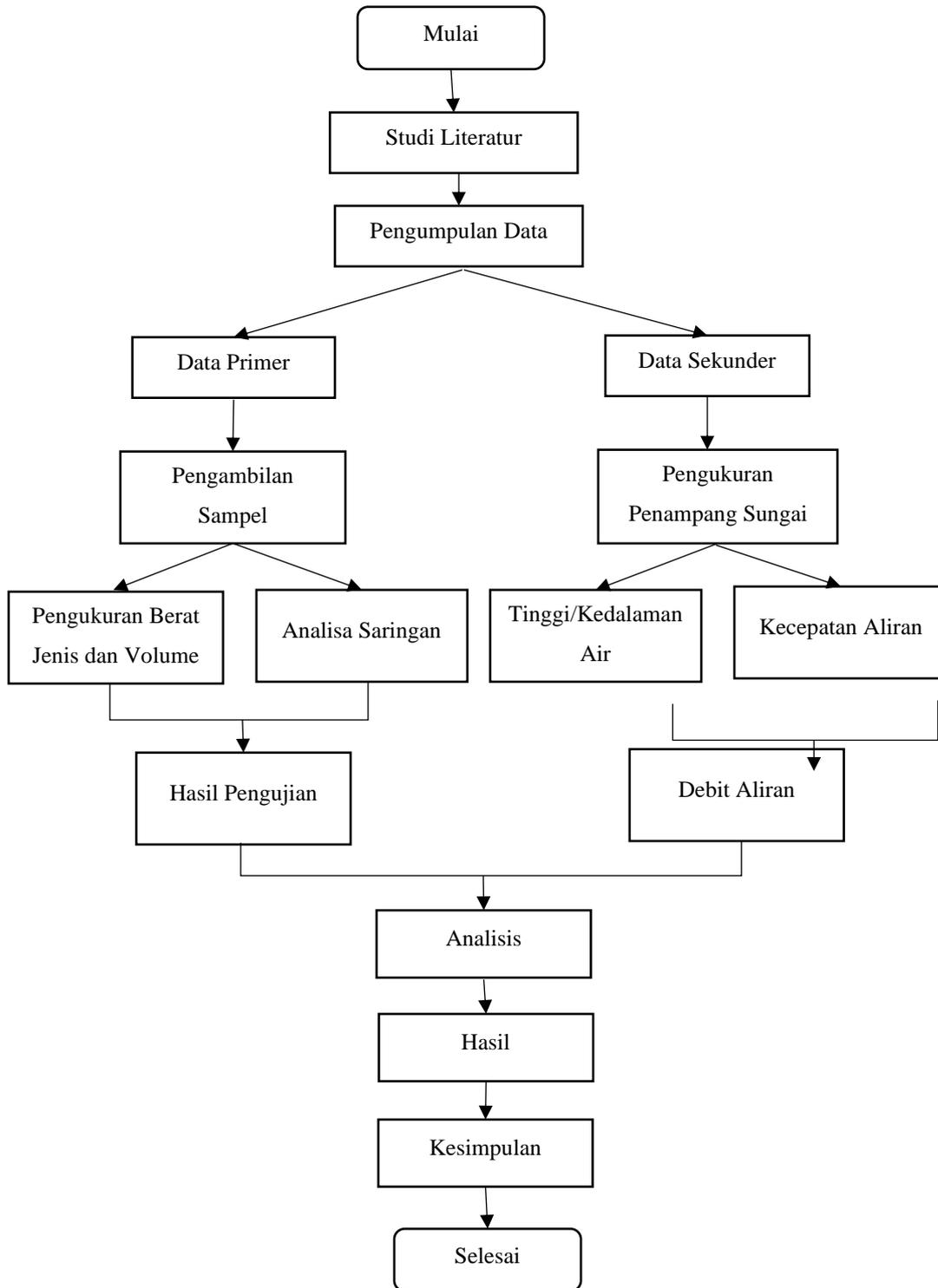
A : Berat *aluminium foil* + sedimen setelah pemanasan 105° C dalam gram (gr)

B : Berat awal *aluminium foil* setelah pemanasan 105 ° C dalam gram

R : Jari-jari lingkaran *sediment trap*

Π : 3,14

### 3.4 Bagan Alir Penelitian



## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data dan pembahasan dari penelitian, maka dapat disimpulkan antara lain :

1. Debit rata-rata sedimen suspensi pengukuran ( $Q_s$ ) pada sedimen layang yaitu sebesar 0.00048 ton/s, sedangkan pada sedimen dasar sebesar 0.02310 ton/s. Pengukuran dilakukan pada tanggal 23/09/2023 dengan jumlah terendah debit aliran sedimen layang dengan nilai 0.00001 ton/s pada lokasi pengambilan tengah sampel 1 jam 10:00:00 dan jumlah tertinggi 0.00375 ton/s pada lokasi pengambilan kiri sampel 2 jam 13:00:00. sedangkan pada sedimen dasar jumlah terendah debit aliran dengan nilai 0.00850 ton/s pada lokasi pengambilan tengah sampel 1 jam 13:00:00 dan jumlah tertinggi 0.03821 ton/s pada lokasi pengambilan tengah sampel 1 jam 10:00:00. Semakin besar debit aliran, maka semakin banyak pula sedimen suspensi yang akan terangkut, sehingga debit sedimen suspensi akan semakin besar pula.
2. Gradasi butir sedimen pada sedimen layang terdiri dari pasir sedang (*medium sand*), pasir halus (*fine sand*) dan pasir sangat halus (*very fine sand*), dan lumpur kasar (*coarse silt*). Sedangkan pada sedimen dasar terdiri dari kerikil halus (*fine gravel*), kerikil sangat halus (*very fine gravel*), pasir sangat kasar (*very coarse sand*), pasir kasar (*coarse sand*), pasir sedang (*medium sand*), pasir halus (*fine sand*), pasir sangat halus (*very fine sand*) dan lumpur kasar (*coarse silt*). Berat volume rata-rata sedimen layang 0.0017 t/m<sup>3</sup> dan sedimen dasar 0.3238 t/m<sup>3</sup>. Bila nilai kecepatan aliran semakin kecil maka partikel sedimen yang dibawa semakin sedikit dan ukuran butir partikel semakin kecil ataupun partikel sedimen tersebut dapat terendakan di dasar perairan.
3. Nilai rata-rata laju sedimentasi di Sungai Way Sekampung, terkecil pada sedimen layang pukul 10.00 sebesar 1.023 kg/m<sup>2</sup>/minggu dan terbesar pada pukul 13.00 sebesar 1.694 kg/m<sup>2</sup>/minggu, sedangkan terkecil pada sedimen

dasar yaitu pukul 10.00 sebesar 204.461 kg/m<sup>2</sup>/minggu, sedangkan terbesar pada pukul 16.00 yaitu sebesar 454.495 kg/m<sup>2</sup>/minggu. Nilai laju sedimentasi yang tinggi sehingga menyebabkan adanya perubahan kedalaman menjadi dangkal. Sedimentasi yang tinggi akan menimbulkan terhambatnya air yang mengalir menuju ke laut, sehingga apabila musim hujan datang kemungkinan besar dapat menimbulkan terjadinya banjir di hulu sungai Way Sekampung. Faktor yang mempengaruhi sedimentasi diantaranya yaitu debit sungai, debit sedimen suspensi, pasang surut, dan arus laut.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diambil adalah :

1. Penanganan sedimentasi dengan cara evakuasi atau pembuangan sedimen dengan cara pengerukan merupakan alternatif terakhir yang sebaiknya dihindari.
2. Metode konservasi kawasan hulu dalam rangka mengurangi atau mencegah sedimen dapat dilakukan dengan penanganan struktural maupun non-struktural. Penanganan struktural termasuk pembangunan tampungan sedimen, bangunan terjunan untuk mengurangi erosi alur, perlindungan tebing untuk mengurangi erosi tebing, serta bangunan pengendali dasar sungai (ambang) untuk menstabilkan elevasi dasar sungai. Penanganan nonstruktural mencakup perbaikan daerah tangkapan dengan perbaikan tanaman penutup dan rotasi tanaman untuk menekan laju erosi serta dengan pengaturan tanaman untuk menahan angkutan sedimen.
3. Tingkat kerusakan erosi meningkat seiring dengan meningkatnya kegiatan penduduk membuka tanah pertanian tanpa pengolahan yang benar. Oleh karena itu penebangan hutan dan cara pengolahan tanah harus sesuai dengan kaidah konservasi sehingga tidak menyebabkan laju erosi yang tinggi.
4. Rencana Pengelolaan Bendungan ditujukan sebagai acuan dalam pelaksanaan operasi & pemeliharaan bendungan beserta waduknya, terdiri dari :
  - Rencana
    - Konservasi sumber daya air pada waduk;
    - Pendayagunaan waduk;

- Pengendalian daya rusak air melalui pengendalian bendungan beserta waduknya; dan diselaraskan dengan system peringatan dini di wilayah sungai yang bersangkutan
- Pedoman Operasi & Pemeliharaan;
  - Tata cara pengoperasian fasilitas bendungan dan pemeliharaan bendungan beserta waduknya.;
  - Ditinjau dan dievaluasi paling sedikit 1 (satu) kali dalam waktu 5 (lima) tahun.
  - Hasil peninjauan dan evaluasi , menjadi dasar penyempurnaan pedoman operasi dan pemeliharaan bendungan beserta waduknya.
- Pola Operasi Waduk (POW)
  - Lengkung batas operasi normal bawah yg disusun berdasar data hidrologi tahun kering;
  - Lengkung batas operasi normal atas yang disusun berdasar data hidrologi tahun basah
  - Memuat tata cara pengeluaran air dari waduk
  - Disusun oleh Pembangun/Pengelola bendungan.
  - Bendungan seri (*cascade*), penyusunan POW dengan melibatkan pengelola bendungan lain yang terletak dalam satu sungai dengan bendungan yang bersangkutan.
  - Ditetapkan oleh Pengelola bendungan untuk jangka waktu 5 th.
  - Pengelola bendungan menyusun rencana tahunan operasi waduk (RTOW).

## DAFTAR PUSTAKA

- Adrianto, B., Hariyadi, & Rochaddi, B. (2017). Analisa Laju Sedimentasi di Muara Sungai Karangsong, Kabupaten Indramayu. *Jurnal Oseanografi*, 6, 10–21.
- Agunwamba, J. C., Dike, C. C., Ogarekpe, N. M., & Dike, B. U. (2013). Analysis of sedimentation of canals. *International Journal of Development and Sustainability*, 2(1), 306–332. <http://isdsnet.com/ijds-v2n1-22.pdf>
- Amprin. (n.d.). *Analisis Laju Sedimentasi di Saluran Intatake Irigasi Bendungan Tanah Abang, Kecamatan Loso Mesangat*. 1–10.
- Amri, K. (2022). Analisis Laju Angkutan Sedimen Di Sungai Luas Bengkulu Dengan Menggunakan Metode Shen Hungs Dan Engelund Hansen. *RADIAL : Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa Dan Teknologi*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.37971/radial.v10i1.239>
- AnggPERaini, R. R., Yanuar, U., & Risjani, Y. (2020). Karakteristik Sedimen di Perairan Pesisir Lekok, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi*.
- Aryanto, A.F., (2010). Pengaruh Perubahan Penutup Lahan terhadap Debit Aliran Permukaan di SUB-DAS Keduang Kabupaten Wonogiri. *Universitas Sebalas Maret, Surakarta*.
- Asdak, C. (1995). *Hidrologi Pengolahan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta : Gajah Mada University Prees.
- ASTM D 422. (2007a). *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*.
- ASTM D 422. (2007b). *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2015). SNI 3408;2015 *Tata cara pengukuran kecepatan aliran pada uji model hidraulik fisik (UMH fisik), dengan alat ukur arus tipe baling-baling*.
- Buchanan, J. B. (1984). *Sediment analysis*. in N. A. Holme, & A. D. McIntyre (Eds.), *Methods for the Study of Marine Benthos. International Biological Programme. 2nd ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications*.
- Direktorat Bina Teknik. (2004). *Pedoman Pengelolaan Sedimentasi Waduk. Direktorat Jenderal Sumberdaya Air Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat, Jakarta*.

- Febriyanti., Wahono, E.P., Kusumastuti, D.I. (2021). Optimasi operasi waduk Temburun di Kabupaten Kepulauan Anambas untuk pemenuhan kebutuhan air baku . *Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung*, 25(2).
- Garde, R. J., & Raju, K. G. R. (1985). *Sediment analysis. in N. A. Holme, & A. D. McIntyre (Eds.), Methods for the Study of Marine Benthos. International Biological Programme. 2nd ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications., 41-65 pp.*
- Gemilang, W. A., Rahmawan, G. A., Dhiauddin, R., & Wisna, U. J. (2018). Karakteristik Sebaran Sedimen Pantai Utara Jawa Studi Kasus: Kecamatan Brebes Jawa Tengah. *Jurnal Kelautan Nasional*, 1(2), 65–74.  
<https://doi.org/10.15578/jkn.v1i2.6456>
- Ghani, N. A. A. A., Othman, N., & Baharudin, M. K. H. (2012). Study on Characteristics of Sediment and Sedimentation Rate at Sungai Lembing, Kuantan, Pahang. *Proceeding Engineering*, 53, 81–92.
- Hadi, S. (1982). *Metodologi Reseach, Jilid I. Yogyakarta : YP. Fakultas Psikologi, UGM.*
- Hambali, R., & Yayak, A. (2019). Studi Karakteristik Sedimen dan Laju Sedimen Sungai Daeng. *Jurnal Forum Profesional Teknik Sipil*, 4, 165–174.
- Hariadi, A., Satriadi, A., & Subardjo, P. (2017). Laju Sedimentasi Di Muara Sungai Tayu Kabupaten Pati Jawa Tengah. *Jurnal Oseanografi*, 6(1), 322–329.
- Juliano, R., Hartono, D., & Anggoro, A. (2021). Analisis Laju Sedimentasi Di Kawasan Perairan Pangkalan Pendaratan Ikan (Ppi) Pondok Besi Kota Bengkulu. *Maspuri Journal : Marine Science Research*, 13(2), 105–116.  
<https://doi.org/10.56064/maspuri.v13i2.14575>
- Kamis, M., & Priambodo, Y. A. (2021). Analisis Laju Sedimentasi pada Hulu Sungai Togurara Kota Ternate. *Jurnal SIPILsains*, 10 2(September), 151–156.
- Kartasapoetra, & Sutedjo. (1991). *Pengantar ilmu tanah : terbentuknya tanah dan tanah pertanian. .*
- Karunia, N. C., Putri, W. A. E., & Diansyah, G. (2022). Analisis Karakteristik Sedimen dan Laju Sedimentasi di Perairan Muara Sungai Musi Kabupaten Banyuasin Provinsi Sumatera Selatan. *Sriwijaya University Institutional Repository*.
- Liu, S., Li, D., Liu, D., Zhang, X., & Wang, Z. (2022). Characteristics of sedimentation and sediment trapping efficiency in the Three Gorges Reservoir, China. *Catena Vol. 208*.

- Mardijikoen, P. (1987). *Angkutan Sedimen. Diktat, Pusat Antar Universitas (PAU) Ilmu Teknik, UGM, Yogyakarta.*
- Nabila, A., Marwoto, J., Subardjo, P., Rifai, A., & Atmodjo, W. (2021). Analisa Laju Sedimentasi di Dermaga 4 Pelabuhan Cigading 1 Provinsi Banten. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(1), 36–43. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v3i1.9901>
- Naufalina, N. A., Marwoto, J., & Rochaddi, B. (2022). Analisis sebaran sedimen berdasarkan ukuran butir di perairan Pantai Baron, Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta. *Indonesian Journal of Oceanography*.
- Nugroho, S. H., & Basit, D. A. (n.d.). Sediment Distribution Based on Grain Size Analyses in Weda Bay, Northern Maluku. In *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* (Vol. 6, Issue 1). [http://itk.fpik.ipb.ac.id/ej\\_itkt61](http://itk.fpik.ipb.ac.id/ej_itkt61)
- Pradipta, S. D., Purwadi, O.T., Welly, M. (2020). Analisis Transpor Sedimen Sungai Way Sekampung (Hulu Bendungan Batutege) Menggunakan Pendekatan Empiris dan Pemodelan HEC-RAS. *Journal Rekayasa Sipil Dan Desain (JRSDD)*, Vol.8, No.4, Hal:753–764
- Pradipta, Y., Saputro, S., & Satriadi, A. (2013). Laju Sedimentasi Di Muara Sungai Slamaran Pekalongan. *Journal of Oceanography*, 2(4), 378–386.
- Priyantoro, D. (1987). *Teknik Pengangkutan Sedimen. Penerbit Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.*
- Purwadi, O. T., Indriana, D. K., & Lubis, A. M. (2016). Analisis Sedimentasi di Sungai Way Besai. *Jurnal Rekayasa*, 20(3), 1–12.
- Putra, N. D., Wahono, E.P., Kusumastuti, D.I (2021). Model Hubungan Laju Sedimen Melayang dan Indikator Biota Perairan Sungai. *Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung*, 25(2), 50-54
- Rafsanjani, H. (2017). Sediment Transport Analysis of Sesayap River, Malinau District, North Kalimantan. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 3(3), 149. <https://doi.org/10.22146/jcef.27239>
- Rifardi. (2012). *Ekologi Sedimen Laut Modern (Edisi Revisi). Unri Press, Pekanbaru, 167.*
- Ronggodigdo, S. (2011). *Kajian Sedimentasi Serta Hubungannya Terhadap Pendangkalan di Muara Sungai Belawan. Tugas Akhir Departemen Teknik Sipil. Fakultas Teknik. Sumatera Utara.*

- Saputra, D. W., Muliadi, M., Risiko, R., Kushadiwijayanto, A. A., & Nurrahman, Y. A. (2022). Analisis Laju Sedimentasi di Kawasan Perairan Sungai Sambas Kalimantan Barat. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 5(1), 31.  
<https://doi.org/10.26418/lkuntan.v5i1.46797>
- Sembiring, A. E., Mananoma, T., Halim, F., & Wuisan, E. M. (2014). Analisis Sedimentasi di Muara Sungai Panasen. *Jurnal Sipil Statik*, 2(3), 148–154.
- Septiriono Hari Nugroho, & Abdul Basit. (2014). Sediment Distribution Based on Grain Size Analyses in Weda Bay, Northern Maluku. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 6(1), 229–240. [http://itk.fpik.ipb.ac.id/ej\\_itkt61](http://itk.fpik.ipb.ac.id/ej_itkt61)
- Siswanto, R., & Herawati, H. (n.d.). (2021). Studi Karakteristik dan Laju Angkutan Sedimen Parit Langgar Desa Wajok Hilir Kecamatan Siantan Kabupaten Mempawah. *JeLAST : Jurnal Teknik Kelautan , PWK , Sipil, dan Tambang*
- SNI 1964. (2008). *Cara Uji Berat Jenis Tanah. Badan Standarisasi Nasional*.
- Soemarto. (1987). *Hidrologi Teknik, Usaha Nasional, Surabaya*.
- Soewarno. (1991). *Hidrologi. Pengukurandan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri). Penerbit Nova. Bandung* .
- Sosrodarsono, S., & Tominaga, M. (1985). *Perbaikan dan pengaturan sungai PT. Pradnya Paramita. Jakarta*.
- Srijati, S., Baskoro, R., & Widada, S. (2017). Analisis Laju Sedimentasi di Perairan Muara Sungai Waridin Kabupaten Kendal. *Jurnal Oseanografi*, 6(May 2016), 246–253.
- Sudira, I. W., Mananoma, T., & Manalip, H. (2013). Analisis angkutan sedimen pada Sungai Mansahan. *Media Engineering*, 3(1), 54–57.  
<https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jime/article/view/4261>
- Sugiyono. (2009). *Metode Penelitian Bisnis (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D). Alfabeta, Bandung*.
- Sulistiyani, P., Sodik Imanudin, M., & Said, M. (2019). Sedimentation Rate and Characteristics of Musi River Mud, Palembang City, South Sumatra. *Journal of Wetlands Environmental Management*, 7(1), 95–105.  
<https://doi.org/10.20527/jwem.v7.v1.192>
- Syah, R.H., 2017. Normalisasi Sungai Gunting untuk Penanggulangan Banjir di Kecamatan Mojoagung Kabupaten Jombang. *Universitas Muhammadiyah Malang*.

- Togatorop, H. O., Indriana, D. K., & Tugiono, S. (2016). *Analisis Sedimentasi Di Check Dam Study Kasus : Sungai Air Anak dan Sungai Talang Bandung*. 4(3), 2303–2314.
- Triatmojo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Beta Offset, Yogyakarta.
- Triatmojo, B. (2008). *Hidrologi Terapan*. Beta Offset, Yogyakarta.
- Triyanto., Wahono, E.P., Kusumastuti, D.I. (2020). Simulasi waduk Margatiga di Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung*, 24(3)
- Tundu, C., Tumbare, M. J., & Onema, J. M. K. (2018). Sedimentation and its impacts/effects on river system and reservoir water quality: Case study of Mazowe catchment, Zimbabwe. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 377, 57–66. <https://doi.org/10.5194/piahs-377-57-2018>
- Wahidin. (2020). Analisis Laju Sedimentasi dan Konservasi di Hulu Waduk Malahayu. In *Infratech Building Journal (IJB)* (pp. 29–35).
- Wahono, E. P. (2002). *Perhitungan Debit Dominan dalam Proses Morfologi Sungai, Prosiding Simposium Nasional RAPI, FT UMS Surakarta*.
- Wahono, E. P. (2004). *Hubungan antara Debit Dominan dan Geometri Saluran Alluvial: Studi Kasus Sungai Way Rilau, Proceeding Seminar Hasil-Hasil Penelitian di UNILA, Edisi 1*.
- Wahono, E. P. (2011). *Preliminary Assessment of Environmental Flow in The Way Sekampung River: an Effort to Reduce Environmental Risk , Acepted on International Seminar on Water Related Risk Management, HATHI*.
- Wibowo, Y. A. (2012). *Dinamika Pantai (Abrasi dan Sedimentasi)*. Universitas Hang Tuah.
- Wicaksono, M. A., Wahono, E.P., Wijaya, R. A., Kusumastuti, D. I. (2021). Pemodelan Hujan-Debit Aliran Menggunakan Program HEC-HMS 4.5Di SubDAS Argoguroh–Margatiga. *Journal Rekayasa Sipil Dan Desain (JRSDD) Vol.9, No.4, Hal:795-808*
- Yayuk. (2016). Studi Karakteristik Sedimendan Laju Sedimentasi Sungai Daeng Kabupaten Bangka Barat. *Jurnal Fropil Vol 4 Nomor 2*.