

**KAJIAN GERAK AWAL BUTIRAN SEDIMEN DASAR SEBAGAI
FUNGSI DIAMETER SEDIMEN DASAR : SKALA LABORATORIUM**

Oleh

LUCKY YUHADI HUSEIN

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRACT

BASIC INITIAL STUDY OF PARTICLE MOTION AS A FUNCTION OF BED-LOAD SEDIMENT DIAMTER ON LABORATORY SCALE

By

LUCKY YUHADI HUSEIN

An open channel is a water flow path on the surface of the earth that functions not only as a conduit for river water but also as a medium for transporting sediment on the riverbed. This sediment transfer process can cause several problems that may lead to suboptimal channel function. Prior to the total sediment movement, there is usually an initial movement of sediment particles

This study aims to identify the initial theoretical and empirical formulas for sediment particle motion on the riverbed and analyze the relationship between the velocity of the channel flow and the critical shear velocity for the initial motion of sediment particles.

In this study, the sample was determined using the method of specific gravity practical approach and sieve analysis. Meanwhile, data collection was conducted using the sediment transport demonstration channel equipment and the sharp-crested weir approach was utilized to calculate the velocity values in the channel.

The results of this study showed that for sediment particles with variation I and a size of 0.018 mm at a channel slope of 1.5%, the velocity in the channel was 0.0097 m/s, which is greater than its critical shear velocity of 0.009129 m/s. Meanwhile, for sediment particles with variation II and a size of 0.03 mm at a channel slope of 1.6%, the velocity in the channel was 0.0104 m/s, which is greater than its critical shear velocity of 0.009944 m/s. For sediment particles with variation III and a size of 0.04 mm at a channel slope of 1.8%, the velocity in the channel was 0.0127, which is greater than its critical shear velocity of 0.010922 m/s. According to Shields' theory, this indicates that the sediment particles have started to move.

Key words : Initial motion of sediment particles, Shields, Sharp-crested weir.

ABSTRAK

KAJIAN GERAK AWAL BUTIRAN SEDIMEN DASAR SEBAGAI FUNGSI DIAMETER SEDIMEN DASAR : SKALA LABORATORIUM

Oleh

LUCKY YUHADI HUSEIN

Saluran terbuka adalah jalur aliran air di atas permukaan bumi yang selain berfungsi sebagai tempat untuk mengalirkan air sungai juga memiliki fungsi sebagai media pengangkutan sedimen yang ada di dasar sungai. Proses perpindahan sedimen ini dapat mengakibatkan beberapa masalah yang dapat mengakibatkan ketidakmaksimalan fungsi suatu saluran. Sebelum terjadinya perpindahan sedimen secara total tentu terlebih dahulu terjadi gerakan awal dari butiran sedimen.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi teori dan rumus empiris awal gerak butiran pada sedimen dasar dan menganalisa hubungan antara kecepatan pada saluran dan kecepatan geser kritis terhadap awal gerak butiran sedimen.

Penelitian ini dalam menentukan sampel penelitian menggunakan metode pendekatan praktikum berat jenis dan analisis saringan. Sedangkan dalam pengambilan data penelitian digunakan alat *sediment transport demonstration channel* dan digunakan pendekatan bangun ambang tajam untuk menghitung nilai kecepatan pada saluran.

Hasil penelitian ini menunjukkan pada butiran sedimen variasi I dengan ukuran 0,018 mm pada kemiringan saluran 1,5% didapatkan kecepatan di saluran 0,0097 m/s lebih besar dari kecepatan geser kritisnya 0,009129 m/s. sedangkan untuk butiran sedimen variasi II dengan ukuran 0,03 mm pada kemiringan saluran 1,6% nilai kecepatan di salurannya 0,0104 m/s lebih besar dari kecepatan geser kritisnya 0,009944. Untuk butiran sedimen variasi III dengan ukuran 0,04 mm pada kemiringan saluran 1,8% nilai kecepatan di saluran 0,0127 lebih besar dari kecepatan geser kritisnya 0,010922 m/s hal tersebut menurut teori *Shields* menunjukkan bahwa butiran sedimen sudah mulai bergerak.

Kata kunci : Awal gerak butiran, *Shields*, Ambang tajam.

Judul Skripsi : **KAJIAN GERAK AWAL BUTIRAN SEDIMEN
DASAR SEBAGAI FUNGSI DIAMETER
SEDIMEN DASAR : SKALA LABORATORIUM**

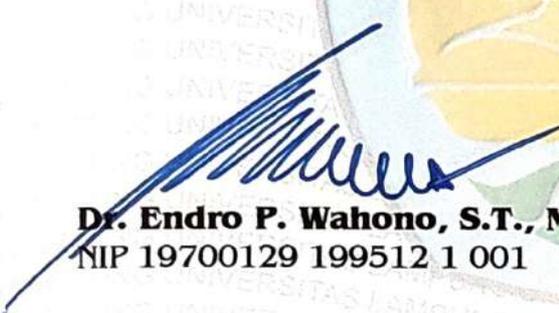
Nama Mahasiswa : **Lucky Yuhadi Husein**

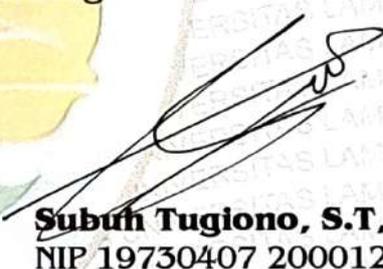
Nomor Pokok Mahasiswa : 1815011008

Jurusan : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

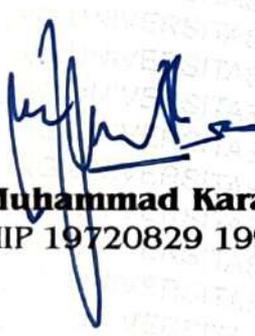


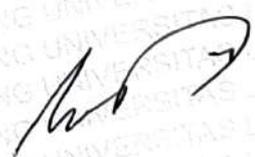

Dr. Endro P. Wahono, S.T., M.Sc.
NIP 19700129 199512 1 001


Subuh Tugiono, S.T, M.T.
NIP 19730407 200012 1 001

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil


Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001


Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 198903 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

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

Sekretaris

: **Subuh Tugiono, S.T, M.T.**

Penguji

Bukan Pembimbing : **Ir. Mariyanto, M.T.**

2. Dekan Fakultas Teknik



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

NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **19 Mei 2023**

SURAT PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : LUCKY YUHADI HUSEIN
Nomor Pokok Mahasiswa : 1815011008
Judul Skripsi : Kajian Gerak Awal Butiran Sedimen Dasar Sebagai
Fungsi Diameter Sedimen Dasar : Skala
Laboratorium
Jurusan : Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan semua tulisan yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti Kaidah Penulisan Karya Ilmiah Universitas Lampung.

Bandar Lampung, 2023

Penulis



LUCKY YUHADI HUSEIN
NPM 1815011008

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Lucky Yuhadi Husein. Penulis dilahirkan di Kota Metro pada tanggal 26 Maret 2000, sebagai anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Ir. Haderi Al dan Ibu Sri Rahayu dan memiliki seorang adik yang bernama Ahmad Titan Alhadi.

Penulis memulai jenjang pendidikan dari Pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK PERTIWI II, Sekolah Dasar di SD Negeri 2 Rajabasa Lama yang diselesaikan pada tahun 2012, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Labuhan Ratu yang diselesaikan pada tahun 2015, dan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Way Jepara yang diselesaikan pada tahun 2018. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi S-1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2018 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dan pernah menjadi anggota Departemen Media dan Informasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) Universitas Lampung periode 2019/2020. Kemudian pada periode 2020/2021 penulis menjadi Kepala Departemen Media dan Informasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) Universitas Lampung. Penulis juga pernah berpartisipasi dalam acara *Civil Brings Revolution* pada tahun 2020 sebagai anggota panitia Sponsorship.

Dalam pengaplikasian ilmu di bidang teknik sipil penulis juga telah melaksanakan Kerja Praktik di pembangunan Rumah Susun Universitas Lampung pada bulan Agustus-November 2021.

Penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Rajabasa Lama II, Kecamatan Labuhan Ratu, Kabupaten Lampung Timur selama 40 hari dalam periode I pada tahun 2021.

Selanjutnya, penulis mengambil tugas akhir untuk skripsi pada tahun 2022, dengan judul "Kajian Awal Gerak Butiran Sedimen Dasar Sebagai Fungsi Diameter Butiran Sedimen Dasar : Skala Laboratorium".

PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah *al'amin*, Puji sukur kepada Allah SWT yang selalu memberikan berkahnya kesetiap langkah perjalanan hidupku. Shalawat serta salam tak lupa saya haturkan kepada nabi tercinta
Nabi Muhammad SAW

Dan dengan ini

Saya persembahkan karya tulis ini kepada:

Ayah dan Ibu Tercinta

Terima kasih atas dukungan moral dan materil serta kasih sayang dan doa yang tidak pernah putus untuk abang, sampai abang bisa menuntaskan skripsi ini

Adik-adikku Tersayang

Terima Kasih kepada Titan yang secara tidak langsung sudah memberi dukungan dan menghibur dikala suntuk dalam proses menyelesaikan skripsi ini.

Bapak dan ibu Dosen

Terima kasih atas ilmu yang telah bapak dan ibu berikan, semoga ilmu yang telah disampaikan menjadi amal jariyah yang tak akan putus terus mengalir sebagai pahala untuk bapak dan ibu

Teknik Sipil Angkatan 2018 Universitas Lampung

Terima kasih atas segala dukungan dan bantuan yang telah teman-teman angkatan 2018 berikan

MOTTO

“Demi masa”

(QS. Al-‘Asr: 1)

“Manusia menanam padi pasti akan menuai padi walaupun rumput juga akan tumbuh, tapi jika manusia menanam rumput tidak akan pernah tumbuh padi”

(Perempuan terhebat/Yu)

“Kalau ragu-ragu lebih baik tak usah dilanjutkan”

(Lelaki panutan/Hadi)

“Jika bisa sendiri mengapa harus bergantung pada orang lain?”

(Lucky Yuhadi Husein)

“Kalo udah lewat ya udah lewat lah, mau diapain lagi”

(Baskara Putra/Hindia)

“Enjoy the little things”

(Qory Gore)

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah senantiasa memberikan rahmat dan anugerah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ **Kajian Gerak Awal Butiran Sedimen Dasar Sebagai Fungsi Diameter Sedimen Dasar : Skala Laboratorium**”. dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan petunjuk, kekuatan, kesabaran, dan pertolongan yang tiada henti, serta senantiasa memberikan berkah ilmu kepada setiap hamba-Nya.
2. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
4. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Endro P. Wahono, S.T., M.Sc, selaku Dosen Pembimbing Utama atas kesediannya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, ide-ide, dan saran serta kritik dalam proses penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Subuh Tugiono, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing Kedua atas kesediannya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, ide-ide, dan saran serta kritik dalam proses penyusunan skripsi ini.
7. Bapak Ir. Mariyanto, M.T., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan arahan kepada penulis guna penyempurnaan skripsi ini.
8. Ibu Vera Agustriana Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membantu penulis selama perkuliahan.

9. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis, serta seluruh karyawan jurusan atas bantuannya kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
10. Kedua orang tua tercinta, Bapak Haderi Al dan Ibu Sri Rahayu yang telah dengan tulus, penuh kasih sayang, dan kesabaran dalam memberikan dorongan, dukungan, nasihat serta doa yang tidak pernah putus sehingga penulis dapat menyelesaikan segala proses perkuliahan.
11. Adik tersayang Ahmad Titan Alhadi yang selalu menemani dan menghibur dikala penulis jenuh.
12. Motherkis (Musabiq, Eko, Sinung, Freni, Febryan, Bagus, Firas, dan Agoy) yang selalu membantu dan menemani berbagi suka dan duka.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, namun penulis berharap semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan, khususnya bagi penulis pribadi.

Bandar Lampung, 2023
Penulis,

Lucky Yuhadi Husein

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR NOTASI	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Sedimentasi.....	5
1. Pengertian Sedimen	5
2. Proses Sedimentasi	6
3. Angkutan Sedimen	7
4. Sifat Butiran Sedimen.....	9
a. Ukuran Butiran.....	9
b. Klasifikasi Ukuran Butiran	10
2.2. Awal Gerak Sedimen.....	11
2.3. Bendung Ambang Tajam.....	14
1. Kondisi Aliran Modular.	14
2. Penelitian Empiris	15
2.4. Klasifikasi Aliran.....	16
1. Aliran Permanen dan Tidak Permanen.....	16
2. Aliran Seragam dan Tidak Seragam.....	17
3. Aliran Laminer dan Turbulen.....	17
4. Aliran Subkritis, Kritis, dan Superkritis	19
2.5. Saluran Terbuka.....	19
1. Pengertian Saluran Terbuka.....	19
2. Unsur-unsur Geometri Saluran.....	20

III. METODE	22
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian	22
3.2. Jenis Penelitian	23
3.3. Variabel yang diteliti	23
3.4. Prosedur Penelitian	23
3.5. Prosedur Pengambilan Data.....	24
3.6. Prosedur Analisis Data	26
3.7. Bagan Alir Penelitian dan Perhitungan	29
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1. Data Sedimen.....	32
1. Berat Jenis Sedimen	32
2. Diameter Butir Sedimen	32
4.2. Data Geometri Saluran	36
4.3. Kecepatan Pada Saluran	38
4.4. Kecepatan Geser Kritis dan Tegangan Geser Kritis.....	44
1. Kecepatan Geser Kritis.....	45
2. Tegangan Geser Kritis	46
4.5. Hubungan antara Kecepatan Geser Kritis dan Kecapatan pada Saluran Terhadap Awal Gerak Butiran	48
V. KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1. Kesimpulan.....	53
5.2. Saran	54

DAFTAR PUSTAKA

Lampiran A Lembar Asistensi
Lampiran B Data Hasil Pengujian
Lampiran C Foto Penelitian

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Tampang panjang saluran dengan dasar granuler.....	7
2. Kondisi secara umum aliran	8
3. Gaya pada permulaan gerak butiran	11
4. Grafik tegangan geser kritis (<i>Shields</i>).....	12
5. Grafik kecepatan geser kritis (<i>Shields</i>).....	13
6. Aliran melalui ambang	15
7. Penampang saluran persegi panjang.....	21
8. Diagram alir penelitian	29
9. Diagram alir perhitungan.....	30
10. Diagram alir perhitungan (lanjutan)	31
11. Grafik analisa saringan	33
12. Satu set <i>sediment transport demonstration channel</i>	36
13. Penampang saluran sedimen transport.....	37
14. Penampang saluran ambang tajam.....	37
15. Analisis grafik diagram <i>Shields</i>	44
16. Letak kecepatan di saluran dan kecepatan geser kritis pada diagram <i>Shields</i> pada variasi butiran sedimen I.....	48
17. Letak kecepatan di saluran dan kecepatan geser kritis pada diagram <i>Shields</i> pada variasi butiran sedimen II	49
18. Letak kecepatan di saluran dan kecepatan geser kritis pada diagram <i>Shields</i> pada variasi butiran sedimen III.....	50
19. Letak kecepatan di saluran dan kecepatan geser kritis pada diagram <i>Shields</i>	51

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Transpor Sedimen pada Tampang Memanjang Saluran.....	8
2. Klasifikasi Ukuran Butiran (AGU).....	10
3. Perbandingan B/b.....	15
4. Jadwal Penelitian	22
5. Analisis Saringan	33
6. Diameter dan Persentase Lolos Saringan Variasi I.....	34
7. Diameter dan Persentase Lolos Saringan Variasi II	35
8. Diameter dan Persentase Lolos Saringan Variasi III.....	35
9. Variasi dan Ukuran Diameter Butiran yang dipakai.....	36
10. Data Kemiringan dan Kedalaman Aliran Rata-rata pada Butiran Sedimen Variasi I	38
11. Kecepatan dan Debit Aliran pada Butiran Sedimen Variasi I	39
12. Data Kemiringan dan Kedalaman Aliran Rata-rata pada Butiran Sedimen Variasi II	40
13. Kecepatan dan Debit Aliran pada Butiran Sedimen Variasi II.....	41
14. Data Kemiringan dan Kedalaman Aliran Rata-rata pada Butiran Sedimen Variasi III.....	42
15. Kecepatan dan Debit Aliran pada Butiran Sedimen Variasi III	43

DAFTAR NOTASI

A	= Luas Penampang (m^2)
B	= Lebar Saluran (m)
b	= Lebar Ambang Tajam (m)
B/b	= Perbandingan Antara Lebar Saluran dengan Lebar Ambang Tajam
Cd	= Koefisien Debit Ambang Tajam
Cu	= Koefisien Keseragaman
Cc	= Koefisien Gradasi
d	= Diameter Butiran Sedimen (m)
F_D	= Gaya Seret
F_L	= Bilangan Froude
Fl	= Gaya Angkat
F_s	= Gaya Geser
g	= Percepatan Gravitasi (m/s^2)
H	= Tinggi Saluran
h	= Kedalaman Aliran (m)
He	= Beda Tinggi Muka Air di Hulu (m)
Hs	= Tinggi Styrofoam (cm)
I	= Kemiringan Dasar Saluran
L	= Panjang Saluran (m)
M	= Berat Pasir + Tabung Ukur + Air (gr)
N	= Berat Pasir SSD (gr)
O	= Berat Tabung Ukur + Air (gr)
P	= Keliling Basah Saluran (m)
P%	= Persentase Sampel Tertahan Saringan (%)
Q	= Debit Aliran Pada Saluran (m^3/s)
q	= Persentase Sampel Lolos Saringan (%)

R	=	Jari-jari hidrolis saluran (m)
Re	=	Bilangan Reynolds
Rh	=	Jari-Jari Hidraulik
S	=	Kemiringan Saluran
U*	=	Kecepatan Rata-rata Pada Saluran (m/s)
U*c	=	Kecepatan Geser Kritis (m/s)
v	=	Kecepatan Aliran (m/s)
ν	=	Viskositas (m^2/s)
w	=	Tinggi Ambang dari Dasar Saluran (cm)
Wai	=	Berat Sampel Tertahan (gram)
Wbi	=	Berat Masing-masing Saringan Dengan Sampel Tertahan (gram)
Wci	=	Berat Masing-masing Saringan (gram)
Ws	=	Gaya Berat di Air
α	=	Nilai Ketentuan Dalam Tabel B/b
β	=	Nilai Ketentuan Dalam Tabel B/b
τ_c	=	Tegangan Geser Kritis (kg/m^2)
ρ_s	=	Berat Jenis Sedimen yang Digunakan (kg/m^3)
ρ_w	=	Berat Jenis Air (kg/m^3)
μ	=	Kekentalan dinamik (kg/ms)

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saluran terbuka adalah jalur aliran air di atas permukaan bumi yang selain berfungsi sebagai tempat untuk mengalirkan air saluran terbuka juga memiliki fungsi sebagai media pengangkutan material sedimen yang ada di dasar saluran (Said & Amalia, 2018). Proses perpindahan sedimen yang terjadi pada dasar saluran terbuka adalah fenomena alam yang terjadi secara berkelanjutan. (Enung, 2008)

Angkutan sedimen yang mengalir pada saluran terbuka dapat menyebabkan penumpukan sedimen terutama pada bagian hilir saluran. Sedimentasi sangat berpengaruh terhadap banyak aspek lingkungan seperti erosi tanah, kualitas air, pasokan air, pendangkalan sungai, umur rencana embung, penyumbatan saluran, perikanan, pariwisata, dan lain-lain. Dengan berbagai permasalahan yang timbul sedimentasi dapat mengakibatkan ketidakmaksimalan fungsi suatu saluran sehingga dapat menyebabkan bencana banjir. Oleh karena itu diperlukan upaya pengerukan dan pembersihan endapan yang memerlukan biaya yang cukup besar (Nurdin, 2015). Salah satu upaya pencegahan hal tersebut dapat dilakukan dengan pembuatan saluran yang memperhatikan desain tepat guna. Salah satu ilmu dalam merencanakan desain saluran tepat guna adalah angkutan sedimen atau transport sedimen.

Berdasarkan penelitian, semakin besar debit yang dialirkan maka angkutan sedimen (*Bed Load*) akan semakin banyak (Cahyono Iksan, 2007). Pengetahuan mengenai angkutan sedimen merupakan dasar untuk perancangan bangunan-bangunan pengendali sungai ataupun saluran-saluran irigasi, perbaikan navigasi, perancangan bangunan pelindung pantai,

pelabuhan/dermaga dan bangunan-bangunan lainnya (Adinegara Subary, 2005).

Penelitian tentang sifat dan dinamika sedimen sangat diperlukan untuk mengetahui karakteristik sedimen yang terangkut, pemakaian rumus-rumus empiris kadang belum membantu dalam perencanaan suatu bangunan air, maka perlu studi model atau riset di laboratorium agar perilaku sedimen dapat diketahui. (Said & Amalia, 2018).

Sebelum sedimen bergerak secara cakupan besar ada salah satu proses yang sangat penting dalam perhitungan angkutan sedimen yakni gerak awal butiran. Awal gerak butiran merupakan kondisi batas antara aliran tanpa angkutan sedimen dan aliran dengan sedimen dasar. (Rusman, 2015). Oleh karena itu awal gerak butiran merupakan hal penting dalam perhitungan angkutan sedimen karena awal gerak butiran adalah dasar dari pemahaman dari proses sedimen transport.

Berdasarkan uraian diatas penulis tertarik menulis skripsi mengenai awal gerak sedimen dengan judul **KAJIAN GERAK AWAL BUTIRAN SEBAGAI FUNGSI DIAMETER SEDIMEN DASAR : SKALA LABORATORIUM**

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diambil pada penelitian ini adalah:

1. Apa saja teori dan rumus empiris yang dapat digunakan dalam penelitian awal gerak butiran pada sedimen dasar?
2. Bagaimana hubungan antara kecepatan di saluran dan kecepatan geser kritis terhadap awal gerak butiran pada sedimen dasar?

1.3. Batasan masalah

Ruang lingkup pada penelitian ini antara lain:

1. Digunakan sedimen dengan asumsi material butiran seragam.
2. Diameter yang digunakan melalui analisa saringan dengan tiga variasi.
3. Pengukuran kedalaman aliran pada masing-masing variasi kemiringan saluran.
4. Analisa kecepatan geser kritis dan tegangan geser kritis butir sedimen berdasarkan pendekatan diagram *shields*.
5. Analisa kestabilan butir sedimen di dasar saluran berdasarkan hubungan kecepatan di saluran dengan kecepatan geser kritis dengan pendekatan diagram *shields*.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengidentifikasi teori dan rumus empiris awal gerak butiran pada sedimen dasar.
2. Menganalisis dengan membandingkan nilai kecepatan pada saluran dan kecepatan geser kritis terhadap awal gerak butiran.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi baru yang berguna untuk pengembangan ilmu sedimentasi tentang gerak awal butiran sedimen.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam pengumpulan data untuk penyusunan penelitian ini yaitu:

1. BAB I Pendahuluan

Berisi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, ruang lingkup penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

2. BAB II Tinjauan Pustaka

Berisi tentang hal-hal berupa teori yang berhubungan dengan judul tugas akhir dan metode-metode perhitungan yang digunakan.

3. BAB III Metode Penelitian

Berisi tentang tempat dan waktu penelitian, sumber data, teknik pengumpulan data dan metode analisis data.

4. BAB IV Hasil dan Pembahasan

Berisi tentang hasil penelitian dan pembahasan mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan serta digunakan untuk memecahkan masalah dan penarikan kesimpulan.

5. BAB V Kesimpulan dan Saran

Dari pembahasan dan analisa data yang telah didapat, penulis dapat memberikan kesimpulan dan saran yang berkaitan dengan judul tugas

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sedimentasi

1. Pengertian Sedimen

Sedimen adalah hasil proses erosi, baik berupa erosi permukaan, erosi parit, atau jenis erosi tanah lainnya (Said dan Amalia, 2018). Sedangkan Sedimentasi dapat didefinisikan sebagai pengangkutan, melayangnya (suspensi) atau mengendapnya material fragmental oleh air (L.J.L. Mondouw, 2011). Hasil dari proses sedimentasi sering ditemui pada saluran air dan sungai. Hasil sedimen adalah besarnya sedimen yang berasal dari erosi yang terjadi di daerah tangkapan air yang diukur pada periode waktu dan tempat tertentu (Said dan Amalia, 2018). Proses erosi dari penyebab terjadinya sedimen sendiri terdiri dari tiga bagian yakni pengelupasan (*detachment*), pengangkutan (*transportation*), dan pengendapan (*sedimentation*). (Asdak, 2014)

Beberapa dampak dari sedimentasi yang merupakan akibat dari erosi antara lain:

1. Pada sungai, pengendapan sedimen di dasar sungai menyebabkan kenaikan elevasi dasar sungai sehingga menjadi salah satu faktor terjadinya banjir.
2. Pada saluran, adanya sedimen pada saluran seperti irigasi atau saluran pelayanan di aliri air akan membutuhkan biaya yang besar untuk pengerukan sedimen sebagai cara pemeliharaan sarana.
3. Pada embung, pengendapan sedimen di embung juga dapat menyebabkan pengurangan volume efektif dari embung untuk menampung air.

Menurut Said dan Amalia (2018) sedimen akan terangkut oleh aliran sungai pada saat debitnya meningkat dari bagian hulu sungai dan kemudian akan diendapkan pada jalur sungai yang landai atau pada ruas sungai yang melebar, selanjutnya pada saat debitnya mengecil dan kandungan beban dalam aliran mengecil, maka sedimen yang mengendap akan berangsur-angsur terbawa hanyut lagi dan dasar sungai akan berangsur turun kembali.

2. Proses Sedimentasi

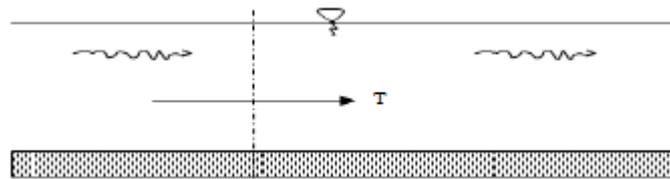
Sedimen yang dihasilkan oleh proses erosi dan terbawa oleh aliran air akan diendapkan pada suatu tempat yang kecepatan alirannya melambat atau terhenti. Peristiwa pengendapan ini dikenal dengan peristiwa atau proses sedimentasi (Said dan Amalia, 2018). Sedangkan menurut A.N. Umam (2015) proses sedimentasi dibedakan menjadi dua yaitu:

1. Proses sedimentasi secara geologis merupakan proses erosi tanah yang berjalan secara normal, artinya proses pengendapan yang berlangsung masih dalam batas-batas yang diperkenankan atau dalam keseimbangan alam dari proses degradasi dan agradasi pada permukaan kulit bumi akibat pelapukan.
2. Proses sedimentasi yang dipercepat merupakan proses terjadinya sedimentasi yang menyimpang dari proses secara geologi dan berlangsung dalam waktu cepat, bersifat merusak atau merugikan dan dapat mengganggu keseimbangan alam atau kelestarian lingkungan hidup. Peristiwa tersebut biasanya disebabkan oleh kegiatan manusia dalam mengolah lahan. Cara mengolah lahan yang salah dapat menyebabkan terjadinya erosi tanah dan sedimentasi yang tinggi.

3. Angkutan Sedimen (*Transport Sedimen*)

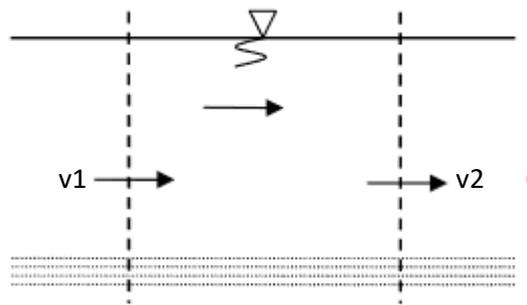
Sedimen yang sudah mengendap dalam dasar sungai akan berinteraksi dengan air yang mengalir dengan debit tertentu. Akibat adanya interaksi tersebut maka akan timbul gaya-gaya yang bekerja pada material sedimen. Dari gaya-gaya tersebut sedimen akan bergerak mengikuti aliran air sungai. Pada waktu gaya-gaya yang bekerja pada butiran sedimen mencapai suatu nilai tertentu, dan apabila sedikit gaya ditambahkan akan menyebabkan butiran sedimen bergerak, maka kondisi tersebut disebut kondisi kritis, begitu pula parameter aliran pada kondisi tersebut, seperti tegangan geser, kecepatan aliran, juga mencapai kondisi kritis (Said dan Amalia, 2018).

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



Gambar 1. Tampang panjang saluran dengan dasar granuler.

Laju sedimen yang terjadi bisa dalam kondisi seimbang (equilibrium), erosi (erosion), pengendapan (deposition), maka dapat ditentukan kuantitas sedimen yang terangkut dalam proses tersebut (Menteng, 2005).



Gambar 2. Kondisi secara umum aliran

Pada gambar 2 dapat dijelaskan apabila v_1 sama dengan v_2 berarti tidak terjadi angkutan sedimen dalam aliran. Apabila v_1 lebih kecil dari v_2 berarti terjadi gerusan pada bagian tampang II sedangkan apabila v_1 lebih besar dari v_2 berarti terjadi pengendapan pada bagian tampang II. Pernyataan sesuai dengan tabel transpor sedimen tampang memanjang saluran yang disampaikan oleh Mardjikoen (1987).

Tabel 1. Transpor sedimen pada tampang memanjang saluran

Perbandingan v	Proses yang terjadi	
	Sedimen	Dasar
$v_1 = v_2$	Seimbang	Stabil
$v_1 < v_2$	Erosi	Degradasi
$v_1 > v_2$	Pengendapan	Agradasi

Sumber : Mardjikoen, 1987

Menurut Mardjikoen dan Adam PR (1988) ada dua faktor yang mempengaruhi adanya angkutan sedimen yaitu sifat butiran sedimen dan sifat aliran.

Proses angkutan sedimen terjadi bersamaan dengan aliran air yang memasuki badan sungai atau penampang memanjang menerima butiran sedimen secara langsung. Untuk material sedimen berukuran kecil seperti tanah liat dan debu dapat diangkut aliran air dalam bentuk terlarut. Untuk

material sedimen yang lebih besar seperti pasir cenderung melompat. Sedangkan material sedimen yang berukuran lebih besar dari pasir seperti kerikil (*gravel*) akan bergerak dengan merayap atau menggelinding di dasar saluran (Asdak,2002). Dari pernyataan diatas dapat diambil kesimpulan bahwa ukuran dan massa material sedimen mempengaruhi pergerakan partikel sedimen.

4. Sifat Butiran Sedimen

a. Ukuran Butiran

Ukuran sedimen adalah salah satu sifat yang paling penting dan banyak digunakan dalam bidang teknik sedimen. Seperti yang sudah dijelaskan pada pembahasan transport sedimen ukuran sedimen sangat berpengaruh dalam mudah atau tidaknya serta banyak atau sedikitnya sedimen yang dapat berpindah. Menurut Enung (2008) ada beberapa istilah yang sering digunakan untuk menyatakan suatu ukuran butiran yakni sebagai berikut:

1. Diameter nominal, adalah diameter bola yang mempunyai volume yang sama dengan volume butiran.
2. Diameter jatuh dari butiran, adalah diameter bola dengan berat jenis spesifik 2,65 yang mempunyai kecepatan jatuh standar sama dengan kecepatan jatuh butiran.
3. Diameter sedimentasi, adalah diameter bola yang mempunyai berat spesifik dan kecepatan pengendapan yang sama dengan butiran sedimen, dalam zat cair sama dan pada kondisi yang sama pula.
4. Diameter saringan, adalah diameter yang diperoleh dari hasil proses penyaringan material sedimen dengan beberapa ukuran lubang yang berbeda, hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengelompokkan material sedimen ke dalam beberapa kelompok ukuran yang berbeda. Biasanya pengukuran diameter dengan cara ini dilakukan untuk butiran yang mempunyai diameter lebih besar dari 0,0625 mm (ukuran saringan terkecil).

b. Klasifikasi Ukuran Butiran

Klasifikasi ukuran butiran yang sering digunakan oleh para ahli hidraulika adalah klasifikasi ukuran butiran yang diusulkan oleh *The Subcommittee on Sediment Terminology* dari AGU (*American Geophysical Union*), dapat dilihat pada tabel 2 berikut

Tabel 2. Klasifikasi ukuran butiran (AGU)

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	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 : AGU (*American Geophysical Union*).

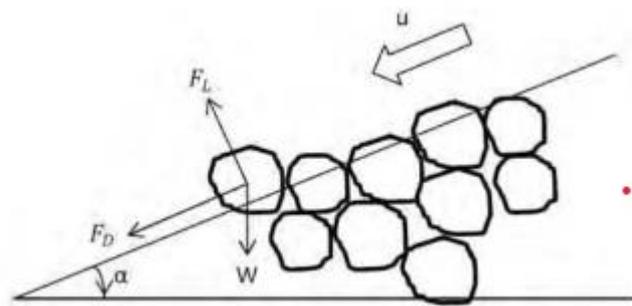
Ukuran butiran ditetapkan berdasarkan ukuran saringan (untuk butiran kasar) dan ukuran/diameter sedimentasi (untuk butiran halus) (Enung, 2008)

Dalam literatur lain juga dikenal beberapa klasifikasi ukuran butiran sedimen yang lain, seperti klasifikasi menurut *U.S. Bureau of Public Roads*, klasifikasi menurut Atterberg, dan klasifikasi menurut *U.S. Bureau of Soils*.

2.2. Awal Gerak Butiran Sedimen

Awal gerak butiran sedimen adalah mulai Bergeraknya butiran partikel sedimen pada saat tegangan kritisnya terlampaui, ketika nilai tegangan geser belum melampaui tegangan kritis maka material pada dasar saluran akan tetap diam atau tidak bergerak (Hermawan dan Afianto, 2021). Sangat sulit mengukur gerakan partikel pada dasar saluran, hal tersebut diebabkan karena gerakan partikel sedimen merupakan fenomena acak dalam ruang dan waktu (Simons et al, 2004).

Ada beberapa gaya yang bekerja pada suatu partikel sedimen bundar (*spherical*) pada dasar saluran terbuka yang dapat dilihat pada gambar berikut ini



Gambar 3. Gaya pada permulaan gerak butiran
Sumber : Hassanzadeh, 2012

Hampir setiap kriteria permulaan gerak butiran diturunkan dari pendekatan tegangan geser ataupun kecepatan arus. Gaya yang bekerja pada butiran sedimen (*non kohesif*) dalam air antara lain:

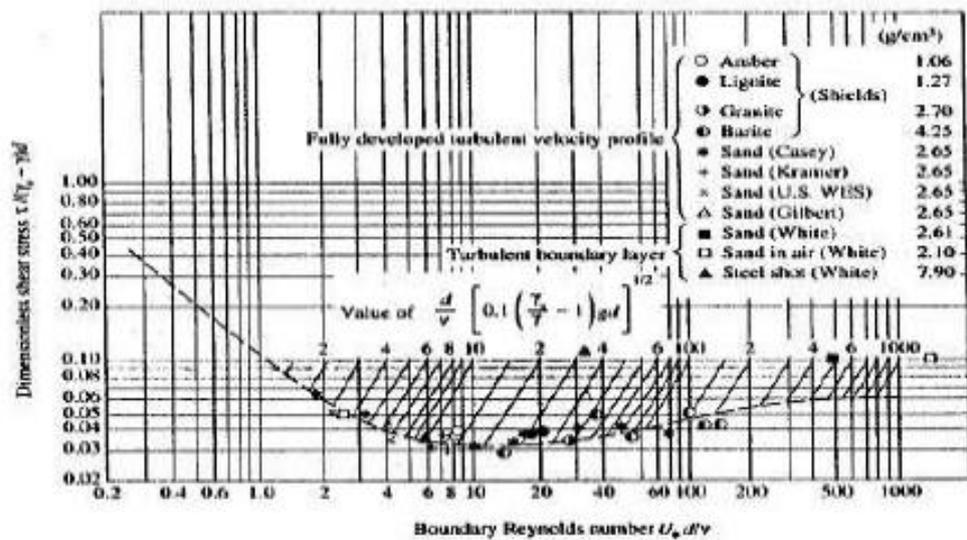
1. Gaya berat di air (*submerged weight, W_s*)
2. Gaya yang menahan (*resistance force, F_s*)
3. Gaya angkat (*lift force, F_L*)
4. Gaya seret (*drag force, F_D*)

Adapula faktor-faktor yang berkaitan dengan awal gerak butiran sedimen adalah kecepatan aliran, diameter ukuran butiran, gaya angkat yang lebih besar dari gaya berat butiran, dan gaya geser kritis. Suatu kondisi dapat

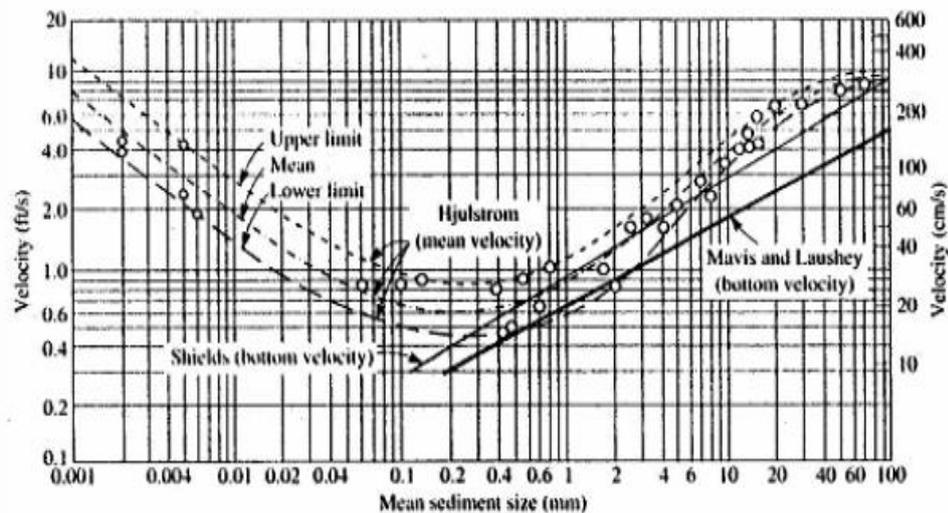
dikatakan terjadinya awal gerak butiran apabila terjadi dari salah satu peristiwa berikut:

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

Teori permulaan gerak butiran dengan pendekatan tegangan geser kritis dan kecepatan kritis menurut Shield (1936) dapat dilihat pada gambar 4 dan gambar 5 berikut ini



Gambar 4. Grafik tegangan geser kritis (Shields).



Gambar 5. Grafik kecepatan kritis (Shields)

Dapat dilihat secara umum sangat sulit untuk menghitung secara analitik berapa besar gaya-gaya yang bekerja pada partikel sedimen, sehingga apabila dilakukan penelitian dengan analisis dimensi dari beberapa parameter dapat diperoleh diagram awal gerak butiran dengan pendekatan tegangan geser

wal gerak butiran sedimen dasar merupakan awal mula angkutan sedimen. Salah satu faktor penyebab awal mula gerakan butiran sedimen adalah kecepatan. Besar nilai kecepatan di saluran untuk menggerakkan butiran bisa dicari menggunakan pendekatan ambang tajam. Sedangkan kecepatan geser kritis menurut *shield* dinyatakan dalam rumus:

$$(U_{*c})^2 / \{[\rho_s - \rho_w) / \rho_w] g d \quad (2.1)$$

Dengan:

U_{*c} = kecepatan geser kritis (m/s)

ρ_s = berat jenis sedimen yang digunakan (kg/m^3)

ρ_w = berat jenis air (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

d = ukuran diameter butiran (m)

Sedangkan tegangan geser kritis yang terjadi menurut *shield* dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\tau_c / [(\rho_s - \rho_w) g d] \quad (2.2)$$

Dengan:

- τ_c = tegangan geser (kg/m^2)
- ρ_s = berat jenis sedimen yang digunakan (kg/m^3)
- ρ_w = berat jenis air (kg/m^3)
- g = percepatan gravitasi (m/s^2)
- d = ukuran diameter butiran (m)

Setelah semua sudah didapatkan hasilnya maka dapat dilihat pergerakannya pada ketentuan dibawah ini

1. Apabila $U^* > U^*_c$ maka butiran bergerak
2. Apabila $U^* = U^*_c$ maka butiran mulai bergerak (kondisi kritis)
3. Apabila $U^* < U^*_c$ maka butiran diam

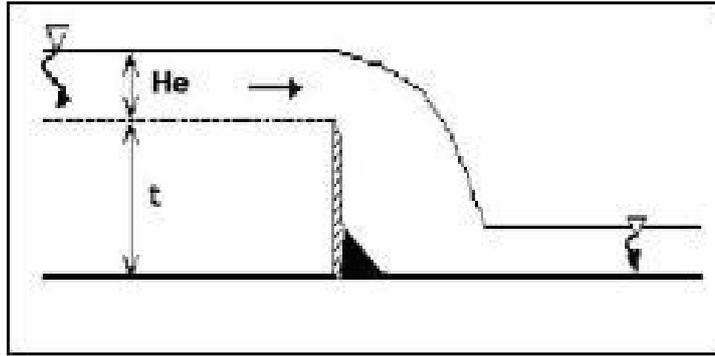
2.3. Bendung Ambang Tajam

Bendung ambang tajam adalah bendungan yang memiliki fungsi meninggikan muka air, melimpahkan air ke hilir, dan sebagai alat ukur debit. Disebut ambang tajam karena panjang ambang tidak mempengaruhi hubungan antara tinggi energi dan debit. Pada prakteknya panjang ambang maksimum 2 mm, sehingga akan mengakibatkan aliran yang melimpas diatas ambang berupa pancaran.

Fenomena tekanan negatif yang diakibatkan oleh meletusnya gelembung udara ke daerah bertekanan tinggi sehingga menyebabkan hilangnya energi mekanik yang disebut dengan kavitasi. Untuk menghindari efek kavitasi di bawah tirai luapan harus diberikan pengudaraan yang cukup.

1. Kondisi Aliran Modular

Berdasarkan persamaan energi dan persamaan kontinuitas diturunkan persamaan sebagai berikut:



Gambar 6. Aliran melalui ambang

Dengan menerapkan persamaan energi maka didapatkan rumus untuk mencari debit dengan pendekatan ambang tajam sebagai berikut:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot B \cdot \sqrt{2g} \cdot (He)^{1,5} \quad (2.3)$$

Dengan He adalah beda tinggi muka air di hulu

2. Penelitian Empiris

Kindsvater dan Carter (Reginald W, Herschy stream Flow Measurment, 1985) besarnya nilai Cd untuk ambang tajam dapat dihitung dengan formula empiris hasil penelitiannya sebagai berikut:

$$Cd = \alpha + \beta \cdot \frac{h}{w} \quad (2.4)$$

Harga α , β tergantung kepada perbandingan antara lebar saluran dengan lebar pintu ambang tajam (B/b) yang dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 3. Perbandingan B/b

B/b	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
α	0,588	0,589	0,599	0,591	0,592	0,593	0,594	0,596	0,602
β	-0,002	-0,002	0,002	0,006	0,011	0,018	0,03	0,045	0,075

Sumber : Reignald W. Herschy, *Hydrometry Principels and Practices*, 1985.

2.4. Klasifikasi Aliran

Aliran permukaan bebas dapat diklasifikasikan menjadi beberapa tipe tergantung kriteria yang digunakan. Berdasarkan perubahan kedalaman dan/atau kecepatan mengikuti fungsi waktu, aliran dibedakan menjadi aliran permanen (*steady*) dan tidak permanen (*unsteady*), sedangkan berdasarkan fungsi ruang, aliran dibedakan menjadi aliran seragam (*uniform*) dan tidak seragam (*non-uniform*).

1. Aliran permanen dan tidak permanen

Menurut Said (2018) Jika kecepatan aliran pada suatu titik pada saluran tidak berubah terhadap waktu maka aliran tersebut termasuk kedalam aliran permanen (*steady flow*), namun jika kecepatan aliran pada suatu titik pada saluran berubah seiring berjalannya waktu maka aliran tersebut termasuk kedalam aliran tidak permanen (*unsteady flow*).

Dalam kondisi tertentu ada kemungkinan aliran tidak permanen dapat ditransformasikan ke aliran permanen berdasarkan pada titik terjadinya perubahan kecepatan aliran yang ditandai dengan pergerakan aliran yang berbeda. Dengan demikian ada beberapa keuntungan yang didapatkan seperti kemudahan visualisasi, kemudahan penulisan persamaan yang terkait, dan sebagainya. Namun penyederhanaan ini hanya memungkinkan jika bentuk gelombang yang ada tidak berubah dalam perambatannya (beraturan). Seperti yang dimisalkan oleh Said (2018), bentuk gelombang kejut (*surge*) tidak berubah ketika merambat pada saluran halus, dan konsekuensinya perambatan gelombang kejut yang tidak permanen dapat dikonverikan menjadi aliran permanen dengan koordinat referensi yang bergerak dengan kecepatan absolut gelombang kejut. Hal ini akan ekuivalen dengan pengamatan yang bergerak disamping gelombang kejut sehingga gelombang kejut terlihat tetap oleh pengamat jadi aliran air dapat dianggap sebagai aliran permanen. Namun jika bentuk gelombang berubah selama perambatannya (tidak beraturan) maka tidak memungkinkan untuk ditransformasikan ke aliran permanen. Sebagai

contoh dapat kita lihat pada gelombang banjir yang merambat pada sungai alamiah tidak dapat ditransformasikan menjadi aliran permanen, karena bentuk gelombang tidak beraturan seiring dengan perambatannya pada salurangan sungai.

2. Aliran Seragam dan Tak Seragam

Menurut Said (2018) Jika kecepatan aliran pada waktu tertentu tidak berubah pada sepanjang saluran yang ditinjau maka alirannya disebut aliran seragam (*uniform flow*). Sebaliknya aliran tak seragam (*nonuniform flow*) berarti kecepatan aliran pada sepanjang saluran yang berubah pada waktu tertentu

Terkadang kecepatan aliran air dalam saluran tidak langsung berubah dan berubah pada jarak tertentu saja hal semacam itu dapat disebut juga sebagai aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*) atau aliran berubah tiba-tiba (*rapidly varied flow*).

3. Aliran Laminer dan Turbulen

Aliran laminer adalah aliran dengan partikel zat cair yang bergerak pada saluran yang gerakannya menyerupai serat-serat atau lapisan-lapisan tipis yang paralel. Sedangkan aliran turbulen adalah aliran dengan partikel zat cair pada saluran yang bergerak secara tidak beraturan, baik ditinjau terhadap ruang maupun waktu.

Faktor yang menentukan keadaan aliran adalah pengaruh relatif antara gaya kekentalan (viskositas) dan gaya inersia. Dengan kata lain dapat dikatakan apabila gaya viskositas dominan maka akan terjadi aliran laminer, dan apabila gaya inersia dominan maka akan terjadi aliran turbulen. Hubungan antara gaya viskositas dan juga gaya inersia dapat dinyatakan dalam bilangan Reynold (Re) yang dirumuskan sebagai:

$$Re = \frac{v \cdot L}{\nu} \quad (2.5)$$

Dengan:

v = kecepatan aliran (m/s)

L = panjang karakteristik (m)

R = jari-jari hidraulik saluran

ν = viskositas (m^2/s)

dimana viskositas didefinisikan sebagai:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho_w} \quad (2.6)$$

Dengan:

ρ_w = berat jenis air (kg/m^3)

μ = kekentalan dinamik (kg/ms)

Adapun sifat-sifat aliran berdasarkan pengaruh gaya kelembaman dengan gaya kekentalan yaitu:

- a. Aliran Laminer yaitu suatu aliran dimana gaya-gaya kekentalan relatif lebih besar dibanding dengan gaya kelembaman sehingga kekentalan berpengaruh besar terhadap sifat aliran. Pada aliran ini partikel cairan seolah-olah bergerak secara teratur sepanjang saluran.
- b. Aliran Turbulen yaitu apabila kecepatan aliran lebih besar daripada kekentalan dalam hal ini partikel zat cair dalam aliran bergerak secara tidak teratur, tidak lancar, tidak tetap, walaupun partikel bergerak maju dalam kesatuan aliran secara keseluruhan.
- c. Aliran Transisi yaitu aliran peralihan dari lamer ke turbulen dimana kekentalan relatif terhadap kecepatan aliran.

Klasifikasi aliran berdasarkan bilangan Reynold dapat dibedakan menjadi tiga macam seperti berikut ini (French, 1985):

$Re < 500$	aliran laminer
$500 < Re < 12500$	aliran transisi
$Re > 12500$	aliran turbulen

Ukuran aliran pada saluran terbuka mempunyai $Re > 12500$ sehingga alirannya termasuk dalam kategori aliran turbulen

4. Aliran Subkritis, Kritis, dan Superkritis

Parameter yang membedakan ketiga jenis aliran tersebut adalah gaya gravitasi dan gaya inersia, yang dinyatakan dengan bilangan Froude (F_r), bilangan Froude dirumuskan sebagai:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h}} \quad (2.7)$$

Dengan:

v = kecepatan aliran (m/s)

h = kedalaman aliran (m)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Sehingga dapat diklasifikasikan:

$Fr = 1$ aliran kritis

$Fr < 1$ aliran subkritis

$Fr > 1$ aliran superkritis

Pada aliran kritis kecepatan aliran sama dengan kecepatan rambat gelombang, untuk aliran subkritis kecepatan alirannya lebih kecil dari kecepatan rambat gelombang, sedangkan aliran superkritis kecepatan aliran lebih dari kecepatan rambat gelombang.

2.5. Saluran Terbuka

1. Pengertian Saluran Terbuka

Saluran terbuka adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada semua titik di sepanjang saluran, tekanan di permukaan air adalah sama, yang biasanya adalah tekanan atmosfer (Said dan Amalia, 2018). Apabila aliran air mengalir pada saluran tertutup dengan aliran air tidak memenuhi penampang basah saluran (masih ada muka air bebas) aliran air tersebut masih termasuk aliran paa saluran terbuka.

Berbagai masalah teknik yang berhubungan dengan aliran sulit untuk diselesaikan dengan alatis, oleh karena itu diperlukan pengamatan dengan membuat suatu prototipe dari bentuk yang sama di lapangan namun dalam ukuran yang lebih kecil.

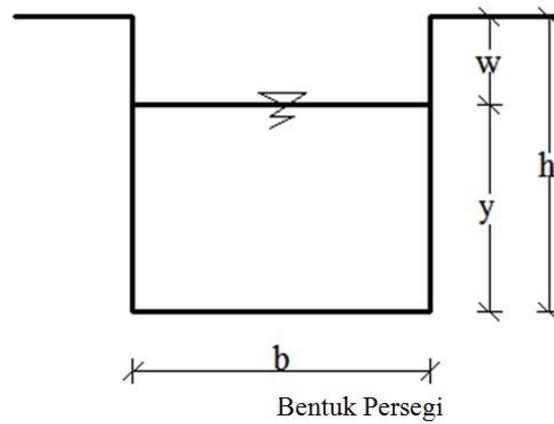
Saluran digolongkan menjadi dua macam yaitu saluran alam dan saluran buatan. Saluran alam adalah suatu aliran air yang melewati penampang saluran yang terbuat secara alami atau yang sudah ada di bumi yang biasanya aliran mengalir dari hulu ke hilir dengan memperhatikan gaya gravitasi bumi. Saluran buatan adalah saluran yang dibuat oleh manusia untuk mengalirkan air sesuai dengan manfaatnya seperti saluran irigasi, saluran drainase, saluran pembawa pada PLTA dan saluran untuk industri termasuk juga saluran pada laboratorium untuk memodelkan saluran di lapangan termasuk dalam golongan saluran buatan.

2. Unsur-unsur Geometri Saluran

Unsur-unsur geometri saluran adalah sifat-sifat suatu saluran yang dapat diuraikan seluruhnya berdasarkan geometri penampang dan kedalaman aliran. Unsur-unsur ini sangat penting dan sering dipakai dalam perhitungan aliran.

Untuk penampang saluran buatan yang biasa dan sederhana perhitungan geometri saluran dapat digunakan rumus matematik menurut kedalaman aliran dan dimensi dari penampang saluran. Akan tetapi untuk saluran dengan bentuk yang rumit dan penampang saluran alami, belum ada rumus tertentu untuk menyatakan unsur geometri pada saluran tersebut.

Penampang saluran biasanya dibuat berdasarkan bentuk geometris yang umum, sedangkan untuk penampang saluran di alam bentuknya sangat tidak beraturan biasanya bervariasi dari bentuk parabola sampai bentuk trapesium. Istilah yang sering ditemui pada geometri saluran yaitu penampang saluran (*channel section*) adalah tegak lurus dengan arah aliran air, sedangkan penampang vertikal saluran (*vertical channel section*) adalah penampang vertikal melalui titik terbawah atau terendah dari penampang. Oleh karena itu biasanya saluran mendatar penampangnya selalu merupakan penampang vertikal.



Gambar 7. Penampang saluran trapesium.

$$\text{Luas (A)} = B \times H \quad (2.8)$$

$$\text{Keliling basah (P)} = B + 2H$$

$$\text{Jari-jari hidraulik (Rh)} = A/P \quad (2.9)$$

Dimana:

A = Luas Penampang (m²)

P = Keliling basah (m)

B = lebar dasar saluran (m)

H = tinggi kedalaman air (m)

Rh = Jari-jari hidraulik (m)

III. METODE

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Laboratorium Hidrolika Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

2. Waktu Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan selama \pm 1 bulan mulai dari 25 November sampai 29 Desember 2022.

Tabel 4. Jadwal Penelitian

No.	Nama kegiatan	Minggu				
		1	2	3	4	5
1	Persiapan alat dan bahan					
2	Pengujian bahan material					
3	Pembuatan model dasar saluran					
4	Simulasi percobaan penelitian					
5	Pengambilan data penelitian					
6	Pembersihan alat dan sisa material					
7	Analisis data penelitian					

3.2. Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif. Menurut V. Wiratna Sujarweni (2014:39) penelitian kuantitatif adalah jenis penelitian yang menghasilkan penemuan-penemuan yang dapat dicapai (diperoleh) dengan menggunakan prosedur-prosedur statistik atau cara lain dari kuantifikasi (pengukuran).

Metode penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dikarenakan data yang akan diolah merupakan data rasio dan yang menjadi fokus dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya pengaruh antar variabel yang diteliti.

3.3. Variabel yang Diteliti

Variabel yang akan diteliti pada penelitian ini adalah ukuran butir sedimen (D) dan kemiringan dasar saluran (I)

3.4. Prosedur Penelitian

1. Alat dan persiapan bahan

Alat-alat yang digunakan pada proses persiapan bahan yang dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi adalah sebagai berikut:

- a. Tabung rekasi
- b. Satu set saringan
- c. Kuas
- d. Kontainer
- e. Ember
- f. Oven

Bahan yang digunakan pada proses persiapan bahan penelitian adalah pasir dan air.

2. Alat dan bahan pengambilan data penelitian

Alat-alat yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Satu set *sediment transport demonstration channel* beserta mesin pompa.
- b. Model dasar saluran
- c. Kamera vidio dan foto
- d. Kertas
- e. Pulpen
- f. Mistar
- g. *Stopwatch* dari *smartphone*

Untuk bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah air dan pasir dengan tiga variasi diameter butiran yang diperoleh melalui uji saringan.

3.5. Prosedur Pengambilan Data

1. Persiapan bahan penelitian

Persiapan bahan penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Lampung dengan menggunakan uji saringan berikut langkah-langkah sesuai pada ASTM D-421 yang akan dilakukan:

- a. Ambil sampel tanah sebanyak 500 gr
- b. Perkisa kadar air tanah
- c. Cuci tanah diatas ayakan No. 200 sampai bersih, sehingga yang ditinggal diatas saringan hanya merupakan partikel atau butiran tanah kasar.
- d. Oven sisa tanah yang tertahan diatas saringan No. 200 selama 24 jam dengan temperatur 105 – 110 derajat celcius.
- e. Dinginkan tanah dengan *desicator*.

- f. Bersihkan masing-masing saringan beserta pan alas yang akan digunakan. Timbang masing-masing saringan dan susun sesuai standar yang dipakai.
- g. Letakkan saringan diatas mesin penggetar
- h. Masukkan sampel tanah dalam susunan di paling atas dan tutup rapat.
- i. Kencangkan penjepit saringan pada alat mesin penggetar
- j. Hidupkan mesin penggetar kira-kira 15 menit
- k. Setelah penggetar mesin dimatikan biarkan selama 5 menit, agar debu-debu mengendap.
- l. Timbang masing-masing saringan beserta sampel tanah yang tertahan diatas saringan.
- m. Bersihkan masing-masing saringan dengan kuas halus secara perlahan-lahan sehingga butiran tanah bersih dari saringan.

2. Pengambilan data penelitian

Pengambilan data akan dilakukan di Laboratorium Hidrolika Universitas Lampung dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Mempersiapkan alat dalam hal ini Satu set *sediment transport demonstration channel*

Persiapan alat yang dimaksud adalah memilih lokasi pada saluran yang memiliki dinding yang masih bagus sehingga pergerakan butiran nantinya dapat terlihat dan juga memasang kertas ukur pada dinding saluran yang telah ditentukan. Serta memastikan kemiringan saluran ada pada kemiringan 0%.

- b. Menempatkan sedimen pasir pada dasar saluran

Butiran sedimen yang telah diambil dari Laboratorium Mekanika Tanah ditempatkan pada dasar saluran yang telah ditentukan. Sedimen yang sudah diletakkan pada dasar saluran dibuat jenuh terlebih dahulu dengan cara mendiamkan pasir terendam oleh air.

c. Menyalakan mesin pompa

Untuk mengalirkan aliran air pada saluran.

d. Mengatur kemiringan dasar saluran

Kemiringan dasar saluran dapat dimiringkan maksimal sebesar 10%. Pada penelitian ini saluran akan dimiringkan untuk menambah kecepatan aliran hingga terjadi awal gerak butiran sedimen dasar.

e. Mengukur tinggi muka air dengan mistar

Pengukuran tinggi muka air ini dilakukan untuk mencari debit dan kecepatan pada saluran. Pengukuran ini dilakukan sebanyak tiga kali pada masing-masing variasi kemiringan saluran dan ukuran butiran sedimen.

f. Mengamati keadaan sedimen terhadap pengaruh aliran air selama beberapa menit.

Dalam pengamatan juga dilakukan dengan bantuan alat berupa kamera *smartphone* beserta sanggaan *smartphone* tersebut

g. Mematikan pompa

Setelah diamati dan diperoleh hasil pengamatannya, lalu pompa akan dimatikan agar aliran air di saluran berhenti.

h. Mengulang prosedur 2-9 untuk variasi lainnya sebanyak 9 kali untuk mendapatkan data pada masing-masing variasi butiran sedimen.

3.6. Prosedur Analisis Data

1. Analisis Persiapan Bahan Penelitian

- a. Berat masing-masing saringan (W_{ci})
- b. Berat masing-masing saringan dengan sampel tanah tertahan diatas saringan (W_{bi})
- c. Berat tanah yang tertahan (W_{ai}) = $W_{bi} - W_{ci}$
- d. Jumlah seluruh berat tanah yang tertahan diatas saringan (W_{ai}) harus sama dengan berat tanah semula yaitu 500 gram
- e. Persentase berat tanah yang tertahan diatas masing-masing saringan ($P\%$)

$$P\% = \frac{W_{bi} - W_{ci}}{W_{tot}} \times 100\%$$

- f. Persentase berat tanah yang lolos masing-masing saringan (q)
- $$q = 100\% - P\%$$
- g. Seluruh data dan hasil perhitungan dibuat dalam tabel dan grafik yang telah ditentukan.
- h. Hubungkan antara diameter butiran tanah pada No. saringan dengan persentase berat tanah yang lolos saringan dibuat dalam grafik semi-logaritma:
- Sumbu horizontal, skala logaritma untuk diameter butiran atau No. Saringan
 - Sumbu vertikal, skala linear untuk persentase tanah yang lolos saringan
- i. Hubungkan titik dalam gambar dengan mistar garis sehingga terbentuk grafik lengkung yang bagus
- j. Dari grafik dapat dihitung parameter
- Koefisien keseragaman (Cu)

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$
 - Koefisien gradasi (Cc)

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$$
- Dimana : D10, D30, D60 adalah masing-masing diameter butiran tanah pada persentase yang lolos saringan 10%, 30%, dan 60%.

2. Analisis Awal Gerak Butiran

- a. Menghitung tinggi muka air rata-rata dari hasil pengukuran di laboratorium yang diukur sebanyak tiga kali pada setiap variasi kemiringan dan diameter butiran sedimen.
- b. Menghitung debit di saluran menggunakan rumus pendekatan bentuk saluran ambang tajam dengan rumus $Q = \frac{3}{2} \times B \times \sqrt{2 \cdot g} \times h^{1,5}$

c. Setelah debit didapatkan maka dapat dihitung kecepatan dengan rumus $U_* = \frac{Q}{A}$ dengan A adalah luas penampang basah dalam saluran.

d. Menghitung kecepatan geser kritis dan tegangan geser kritis menggunakan plotting nilai besar diameter saluran yang akan mendapatkan nilai gd pada diagram *Shields* (1936) dan dihitung dengan rumus *Shields* (1936) berikut:

- kecepatan geser kritis (U_{*c})

$$(U_{*c})^2 / \{[(\rho_s - \rho_w)/\rho_w] gd\} \text{ dan}$$

- tegangan geser kritis (τ_c)

$$\tau_c / [(\rho_s - \rho_w) gd].$$

e. Membandingkan nilai U_* terhadap U_{*c}

Setelah semua didapatkan dapat dibandingkan dengan ketentuan sebagai berikut:

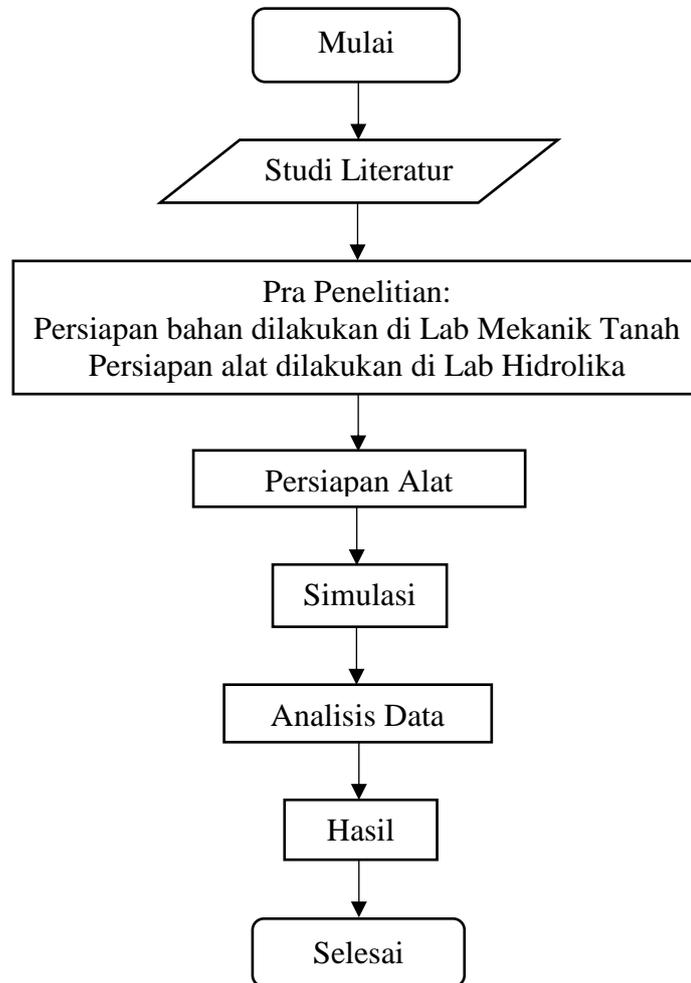
1. Apabila $U_* > U_c$ maka butiran bergerak
2. Apabila $U_* = U_c$ maka butiran mulai bergerak (kondisi kritis)
3. Apabila $U_* < U_c$ maka butiran diam

f. Dilakukan plotting data hasil perhitungan kedalam diagram *Shields*.

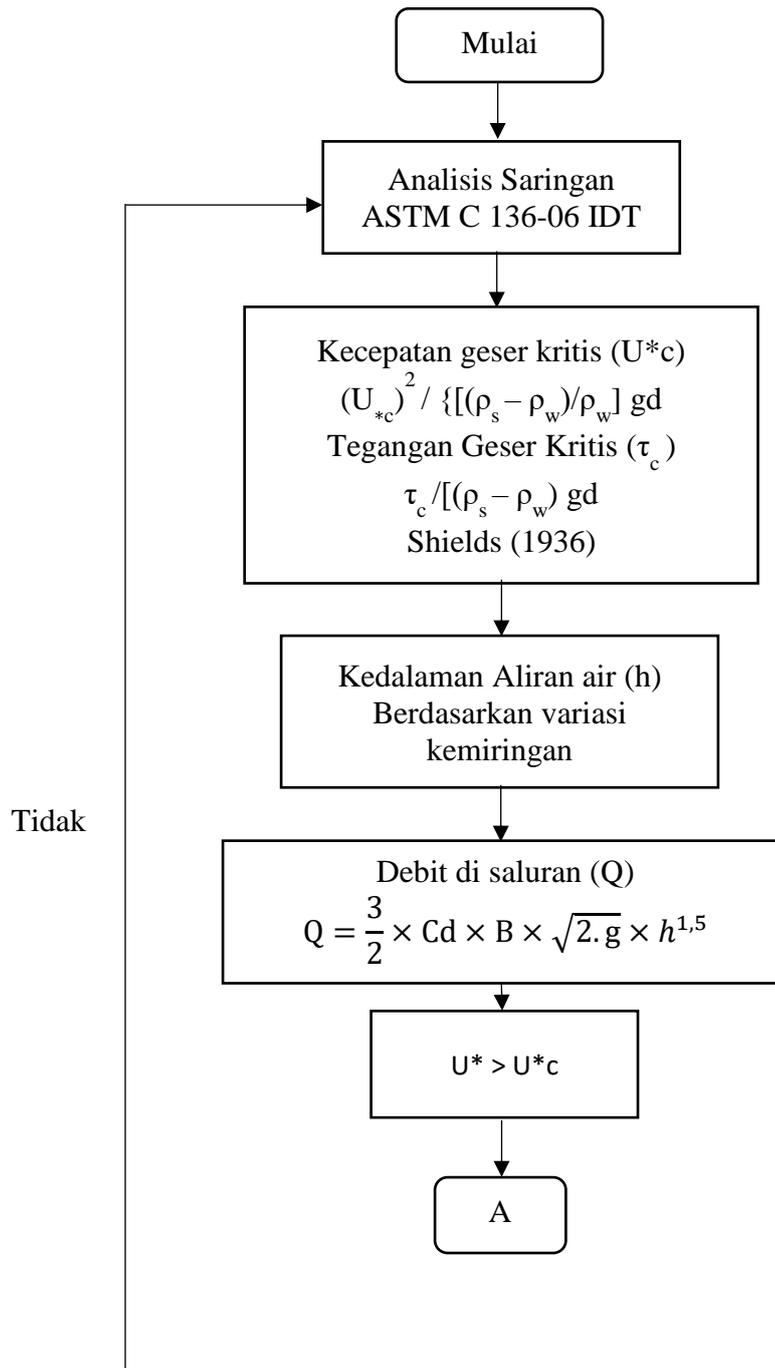
Setelah plotting dilakukan maka dapat dilihat apabila letak nilai kecepatan di saluran berada diatas kecepatan geser kritis dan area awa gerak butiran pada diagram shields maka dapat dinyatakan partikel tersebut mulai bergerak, sebaliknya apabila terletak dibawah maka partikel diam (Shields, 1936).

3.7. Bagan Alir Penelitian dan Perhitungan

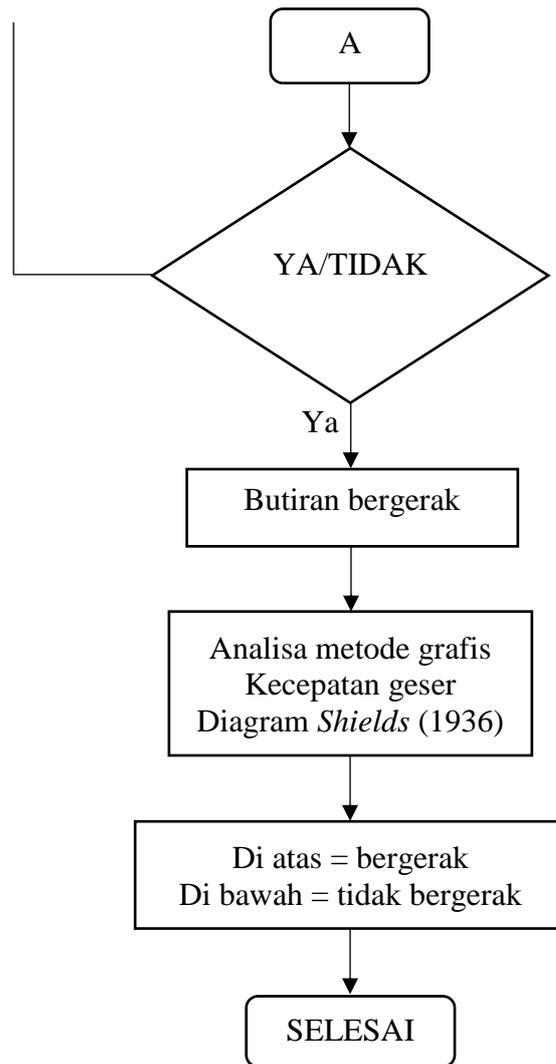
Bagan alir penelitian dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 8. Diagram alir penelitian



Gambar 9. Diagram alir perhitungan



Gambar 10. Diagram Alir Perhitungan (lanjutan)

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dari penelitian ini maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dalam penelitian ini ada beberapa teori dan rumus untuk mencari awal gerak butiran pada sedimen dasar digunakan pendekatan rumus saluran ambang tajam $Q = \frac{3}{2} \times Cd \times B \times \sqrt{2 \cdot g} \times h^{1,5}$ untuk mencari debit aliran yang kemudian dapat dicari kecepatan pada saluran dengan rumus $V = Q/A$. Sedangkan teori *Shields* digunakan untuk mendapatkan hasil kecepatan geser kritis dengan rumus $(U^*c)^2 / \{[\rho_s - \rho_w] / \rho_w\} gd\}$ dan tegangan geser kritis dengan rumus $\tau_c / [(\rho_s - \rho_w) gd]$.
2. Berikut ini adalah kesimpulan dari hubungan kecepatan di saluran dengan kecepatan geser kritis terhadap gerak awal butiran:
 - a. Nilai kecepatan rata-rata di saluran pada variasi I dengan ukuran diameter butiran sedimen 0,18 mm pada kemiringan 1,5% sebesar 0,0134 m/s nilai tersebut lebih besar dari kecepatan geser kritis sebesar 0,0133 m/s. Menurut teori *Shields* hal tersebut menunjukkan butiran sedimen sudah bergerak. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa butiran sedimen variasi I mengalami awal gerak pada kecepatan aliran diantara 0,0127 m/s – 0,0134 m/s.
 - b. Nilai kecepatan rata-rata di saluran pada variasi II dengan ukuran diameter butiran sedimen 0,3 mm pada kemiringan 1,6% sebesar 0,0149 m/s nilai tersebut lebih besar dari kecepatan geser kritis sebesar 0,0145 m/s. Menurut teori *Shields* hal tersebut menunjukkan butiran sedimen sudah bergerak. Dengan demikian dapat

disimpulkan bahwa butiran sedimen variasi II mengalami awal gerak pada kecepatan aliran diantara 0,0134 m/s – 0,0149 m/s.

- c. Nilai kecepatan rata-rata di saluran pada variasi III dengan ukuran diameter butiran sedimen 0,4 mm pada kemiringan 1,8% sebesar 0,167 m/s lebih besar dari nilai kecepatan geser kritis sebesar 0,159 m/s. Menurut teori *Shields* hal tersebut menunjukkan butiran sedimen sudah bergerak. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa butiran sedimen variasi III mengalami awal gerak pada kecepatan aliran diantara 0,0157 m/s – 0,0167 m/s.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diusulkan beberapa saran sebagai berikut:

1. Sebaiknya digunakan pemodelan dengan *flume* yang lebih besar untuk mendapatkan hasil yang mendekati keadaan di lapangan.
2. Sebaiknya pengukuran tinggi muka air menggunakan *point gauge* agar didapatkan hasil yang lebih akurat.
3. Sebaiknya pengukuran debit ataupun kecepatan aliran menggunakan alat pengukur debit ataupun kecepatan aliran agar didapatkan hasil yang lebih akurat.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan kecepatan yang sama namun pada kondisi saluran tanpa kemiringan.
5. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan toleransi pengukuran yang lebih kecil.
6. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan diameter butiran yang tidak seragam.

DAFTAR PUSTAKA

- American Geophysical Union. 1947. *Sediment Terminology Transactions of the*. Vol:26 No.6
- Bizimana, H. Altunkaynak, A. 2020. *Modeling the initiation of sediment motion under a wide range of flow condition using a Geno-Mamdani FuzzyInference System method*. Elsevier B.V. Istanbul Technical University, Maslak 34469, Istanbul,Turkey.
- Enung, 2008, *Pengaruh Gradasi Butiran Terhadap Awal Gerak Butiran Sedimen*, Tesis, Jurusan Ilmu-Ilmu Teknik, Program Pasca Sarjana UGM
- Graf, W.H. 1984. *Fluvial Hydraulics Flow and transport processes in channels of simple geometry*. Water resources publications, Chelsea, Michigan, U.S.A.
- Hermawan dan Afianto. 2021. *Analisis Angkutan Sedimen Dasar (Bed Load) pada Saluran Irigasi Mataram Yogyakarta*. Jurnal Teknisia Yogyakarta
- L.J.L. Mondouw, 2011, *Perhitungan Sedimen Embung Kalen Dusun Pakel, Desa Hargosari, Kecamatan Tanjungsari, Kabupaten Gunung Kidul*, Skripsi, Prodi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
- Mardjikoeno, P., 1987. *Angkutan Sedimen*. Diklat, Pusat Antar Universitas (PAU) Ilmu Teknik, UGM, Yogyakarta
- Marvin dan Pranoto. 2019. *Studi Debit Angkutan Sedimen Dasar Sungai Citarum dengan Rumus Enistain, Shield, Schoklitsch, dan Laboratorium*. Jurnal Mitra Teknik. Universitas Tarumanegara vol:2, No.4 (221-228)
- Marwi. 2018. *Analisa Awal Gerak Butiran pada Sungai Rokan Kanan*. Skripsi, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pasir Pengairan, Rokan Hulu.
- Menteng, Saloten B. 2005. *Kuliah Tranport Sedimen*, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya, Palangka Raya
- Mike Spiliotis, dkk. 2018. *Fuzzy threshold for the initistion of sediment motion*. Elsevier B.V. Istanbul Technical University, Maslak 34469, Istanbul, Turkey.
- Nurdin. 2015. *Analisis Sedimen Dasar (Bed Load) Dan Alternatif Pengendaliannya Pada Sungai Cikapundung Bandung, Jawa Barat – Indonesia*. Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.

- Karomani. 2020. Panduan Penulisan Karya Ilmiah Universitas Lampung Revisi Ke-5. Universitas Lampung, Bandar Lampung, Lampung.
- Putri, dkk, 2021, *Analisis Awal Gerak Butiran Pada Transport Sedimen Material Gambut*, Jurnal Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau 8(2)
- R, Coenraad. 2013. *Studi Angkutan Sedimen Terhadap Bahan Dasar Tanah Homogen*. Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan BALANGA, Palangka Raya, Vol 1 No 1 (59-68)
- Rijn, L.C.v. 1993. *Principles of Sediment Transport in River, Estuaries and Coastal Seas*. Aqua Publication, Amsterdam, Netherland.
- Said dan Amalia, 2018, *Studi Pergerakan Sedimen Akibat Fluktuasi Debit pada Saluran Terbuka*, Skripsi, Jurusan Teknik Sipil Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar
- Sinatra. 2008. *Pengaruh Kemiringan Dasar Terhadap Awal Gerak Butiran Sedimen Seragam*. Tesis, Jurusan Ilmu-Ilmu Teknik, Program Pasca Sarjana UGM
- Y. Rusman, 2015, *Analisis Pergerakan Sedimen pada Saluran dengan Beberapa Variasi Kemiringan*, Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin