

**TUGAS AKHIR**

**STUDI EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK ALIRAN SEDIMEN  
DENGAN VARIASI DIAMETER BUTIRAN**

***EXPERIMENTAL STUDY OF SEDIMENT FLOW CHARACTERISTICS  
WITH VARIATIONS OF GRAIN DIAMETER***

**Disusun dan diajukan oleh:**

**ALMUKHALIK ARYA SAPUTRA**

**D011 20 1081**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2024**



## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### STUDI EXPERIMENTAL KARAKTERISTIK ALIRAN SEDIMEN DENGAN VARIASI DIAMETER BUTIRAN

Disusun dan diajukan oleh

**ALMUKHALIK ARYA SAPUTRA**  
**D011 20 1081**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 14 Agustus 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng  
NIP. 196805292002121002

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Prof. Dr. Ir. H. M. Saleh Pallu, M.Eng  
NIP. 195409101983031003



Optimization Software:  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;  
Nama : Almukhalik Arya Saputra  
NIM : D011201081  
Program Studi : Teknik Sipil  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{ Studi Eksperimental Karakteristik Aliran Sedimen Dengan Variasi Diameter Butiran }

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, Juli 2024

Yang Menyatakan



METERAI TEMPEL  
DF577ALX326574660  
Almukhalik Arya Saputra



## ABSTRAK

**ALMUKHALIK ARYA SAPUTRA.** *Studi Eksperimental Karakteristik Aliran Sedimen Dengan Variasi Diameter Butiran* (dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. H. M. Saleh Pallu, M.Eng)

Saluran terbuka disamping sebagai media untuk mengalirkan air, juga mengangkut material sebagai angkutan sedimen. Angkutan sedimen yang dialirkan melalui saluran terbuka atau sungai dapat menyebabkan penumpukan sedimen sehingga terjadi pendangkalan dan penyumbatan pada saluran. Akibatnya, saluran tidak dapat memaksimalkan fungsinya sehingga dapat menyebabkan banjir. Upaya normalisasi berupa pengerukan dan pembersihan endapan memerlukan biaya yang cukup besar.

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Sistem Hidrolika Teknik Sipil Kampus Gowa, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin dengan menggunakan alat simulasi pengamatan gerak sedimen. Sedimen berupa pasir dengan diameter 0,15, 0,30, 0,60mm ditempatkan di dalam *flume* dan dijenuhkan terlebih dahulu. Air dialirkan ke dalam flume dan kedalaman aliran diukur dengan mistar kemudian mengamati keadaan sedimen dengan pengaruh aliran air selama beberapa menit dan dilakukan pada beberapa variasi kemiringan dan debit.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Dari grafik dapat disimpulkan, angkutan sedimen bisa bergerak jika nilai  $\tau_o$  kita lebih besar dari  $\tau_c$  dan pada grafik menunjukkan hubungan yang terjadi pada Q1 dan Q2 yaitu semakin besar diameter butiran maka semakin kecil pula kemungkinan sedimen bergerak dan semakin besar nilai  $\tau_o$  maka semakin besar pula debit sedimen yang dihasilkan dapat diamati pada debit Q1 grafik debit sedimen terbesar yaitu 0,102 cm<sup>3</sup>/det/cm dengan  $\tau_o-\tau_c$  0,003. Sedangkan debit sedimen terkecil yaitu 0.023 cm<sup>3</sup>/det/cm dengan  $\tau_o-\tau_c$  0,010 dan hubungan yang terjadi pada Q2 yaitu dapat diamati pada grafik debit sedimen terbesar yaitu 0,227 cm<sup>3</sup>/det/cm dengan  $\tau_o-\tau_c$  0,012. Sedangkan debit sedimen terkecil yaitu 0.032 cm<sup>3</sup>/det/cm dengan  $\tau_o-\tau_c$  0,012.

Oleh karena itu, aliran yang terjadi menyebabkan semua butir sedimen bergerak. Kemiringan saluran dan debit aliran berpengaruh terhadap kedalaman dan kecepatan aliran yang terjadi, hal ini pun berpengaruh terhadap muatan sedimen yang senantiasa melakukan pergerakan menyebabkan terjadinya fenomena alterasi dasar sungai, dimana pada suatu periode tertentu permukaan dasar sungai kadang-kadang naik (agradasi), tetapi pada periode yang lain permukaan dasar menjadi turun (degadasi).

**Kata Kunci:** Angkutan sedimen dasar saluran, analisa stabilitas butir sedimen di dasar saluran debit, Pengamatan fenomena endapan sedimen



## ABSTRACT

**ALMUKHALIK ARYA SAPUTRA.** *Studi Eksperimental Karakteristik Aliran Sedimen Dengan Variasi Diameter Butiran*(dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. H. M. Saleh Pallu)

Open channel as well as a medium to drain the water, as well as transport of sediment transport material. Sediment transport is channeled through an open channel or river can cause a buildup of sediment, causing silting and blockage in the channels. Finally, the channel can not maximize its function so as to cause flooding. Normalization efforts such as dredging and sediment cleanup requires considerable cost.

Research conducted at the Laboratory of Civil Engineering Hydraulics Systems, Faculty of Engineering, Hasanuddin University using Sediment Transport Demonstration Channel. Sediment in the form of sand with a diameter of 0.15, 0.30, 0.60mm was placed in the flume and saturated beforehand. Water is flowed into the flume and the depth of flow is measured with a ruler then observe the state of sediment with the influence of water flow for several minutes and carried out on several variations of slope and discharge.

The results showed that from the graph it can be concluded that sediment transport can move if our  $\tau_0$  value is greater than  $\tau_c$  and the graph shows the relationship that occurs in Q1 and Q2, namely the larger the grain diameter, the smaller the possibility of sediment moving and the greater the value of  $\tau_0$ , the greater the resulting sediment discharge can be observed in Q1 discharge the largest sediment discharge graph is 0.102 cm<sup>3</sup>/det/cm with  $\tau_0 - \tau_c$  0.003. While the smallest sediment discharge is 0.102 cm<sup>3</sup>/det/cm with  $\tau_c$  0.003. While the smallest sediment discharge is 0.023 cm<sup>3</sup>/det/cm with  $\tau_0 - \tau_c$  0.010 and the relationship that occurs in Q2 can be observed in the largest sediment discharge graph is 0.227 cm<sup>3</sup>/det/cm with  $\tau_0 - \tau_c$  0.012. While the smallest sediment discharge is 0.032 cm<sup>3</sup>/det/cm with  $\tau_0 - \tau_c$  0.012. Therefore, the flow that occurs causes all sediment grains to move. Channel slope and flow discharge affect the depth and velocity of the flow that occurs, this also affects the sediment load that always moves causing the phenomenon of riverbed alteration, where in a certain period the surface of the riverbed sometimes rises (agradation), but in other periods the surface of the base goes down (degadation).

Keywords: Bed load, Sediment grain stability analysis in bed load, Observation phenomenon sediments.



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Uraian.....	4
2.2 Konsep Dasar Aliran Pada Saluran Terbuka.....	4
2.3 Angkutan Sedimen.....	8
2.4 Angkutan Sedimen Di Sungai.....	11
2.5 Angkutan Dasar (Transport Sedimen).....	14
2.6 Perhitungan Pendekatan Angkutan Sedimen Dasar.....	17
2.7 Kerangka Pikir Penelitian.....	27
BAB III METODE PENELITIAN.....	28
3.1 Lokasi Penelitian.....	28
3.2 Metode Penelitian dan Sumber Data.....	28
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	28
3.4 Prosedur Penelitian.....	30
3.5 Bagan Alir Penelitian.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Data Sedimen.....	33
4.2 Data Debit Aliran.....	33
4.3 Data Debit Sedimen.....	34
4.4 Perhitungan Bilangan <i>Froude</i> .....	37
4.5 Validasi Data Ukur Menggunakan Persamaan Empiris.....	38
a. Data Tegangan Geser ( $\tau_0$ ) dan Tegangan geser kritis ( $\tau_c$ ).....	40
b. Data Kecepatan Geser ( $U^*$ ).....	40
c. Data Pendekatan <i>Shields</i> .....	41
4.6 Perbandingan Data Percobaan dengan Data Menggunakan Persamaan Empiris.....	45
4.7 Kesimpulan.....	48
4.8 Saran.....	48
4.9 Daftar Pustaka.....	50



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Skema aliran pada saluran terbuka (Chow, V.T., 1997).....	5
<b>Gambar 2.</b> Tampang memanjang saluran dengan dasar granular.....	14
<b>Gambar 3.</b> Angkutan sedimen pada tampang panjang dengan dasar granular ....	15
<b>Gambar 4.</b> Grafik tegangan geser .....	16
<b>Gambar 5.</b> Grafik kecepatan kritik .....	16
<b>Gambar 6.</b> Sketsa model bed load menurut DuBoys ( Pallu, M. S., 2012 ) .....	18
<b>Gambar 7.</b> Parameter sedimen dan gaya geser kritis untuk persamaan bed load menurut DuBoys, (a) satuan meter ; (b) satuan inggris.....	19
<b>Gambar 8.</b> Diagram Shields untuk gerakan awal butiran.....	21
<b>Gambar 9.</b> Fungsi angkutan Meyer-Peter (Pallu, M.S.,2012) .....	22
<b>Gambar 10.</b> Ilustrasi gaya-gaya yang bekerja pada butir sedimen.....	25
<b>Gambar 11.</b> Kerangka pikir penelitian .....	27
<b>Gambar 12.</b> Lokasi penelitian.....	28
<b>Gambar 13.</b> <i>Sediment Transport Demonstration Channel</i> .....	29
<b>Gambar 14.</b> Ambang dan <i>Point gauge</i> .....	29
<b>Gambar 15.</b> <i>Flume</i> dan posisi perletakan sedimen dalam saluran.....	30
<b>Gambar 16.</b> Bagan Alir Penelitian.....	32
<b>Gambar 17.</b> Grafik hubungan debit air per satuan lebar ( $q_w$ ) dan debit sedimen per satuan lebar ( $q_s$ ) pada debit ( $Q_1$ ) dan ( $Q_2$ ).....	35
<b>Gambar 18.</b> Grafik hubungan debit air per satuan lebar ( $q_w$ ) dan Konsentrasi ( $C$ ) pada debit ( $Q_1$ ) dan ( $Q_2$ ) .....	36
<b>Gambar 19.</b> Grafik hubungan debit air ( $q_w$ ) data ukur dan debit sedimen ( $q_b$ ) pendekatan <i>Schoklitsch</i> pada debit ( $Q_1$ ) dan ( $Q_2$ ) .....	39
<b>Gambar 20.</b> Grafik hubungan debit angkutan sedimen ( $q_s$ ) pendekatan <i>Shields</i> dan debit air ( $q_w$ ) data ukur pada debit ( $Q_1$ ) dan ( $Q_2$ ).....	42
<b>Gambar 21.</b> Grafik hubungan debit air, berat jenis air, dan kemiringan dengan debit angkutan sedimen dan berat jenis sedimen pada debit ( $Q_1$ ) dan ( $Q_2$ ).....	43
<b>Gambar 22.</b> Grafik hubungan antara Tegangan geser- Tegangan geser kritis (pedekatan <i>Shields</i> ) terhadap debit sedimen (data ukur) pada debit ( $Q_1$ ) dan ( $Q_2$ ) .....	44
<b>Gambar 23.</b> Grafik hubungan antara debit air ( $q_w$ ) dan debit sedimen ( $q_s$ ) pada butiran sedimen 0,15 mm di debit ( $Q_1$ ) dan ( $Q_2$ ) .....	46
<b>Gambar 24.</b> Grafik hubungan antara debit air dan debit sedimen pada butiran sedimen 0,30 mm di debit ( $Q_1$ ) dan ( $Q_2$ ) .....	47
<b>Gambar 25.</b> Grafik hubungan antara debit air dan debit sedimen pada butiran sedimen 0,60 mm di debit ( $Q_1$ ) dan ( $Q_2$ ) .....	47



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.</b> Skala ASTM (American Society of Testing Material).....	10
<b>Tabel 2.</b> Klasifikasi ukuran butir sedimen menurut Wentworth .....	11
<b>Tabel 3.</b> Proses sedimentasi.....	15
<b>Tabel 4.</b> Form Pengambilan Data.....	30
<b>Tabel 5.</b> Pengukuran debit takar .....	33
<b>Tabel 6.</b> Data variasi debit (Q1) dan Debit (Q2) .....	34
<b>Tabel 7.</b> Hasil Perhitungan bilangan Froude untuk debit (Q1) dan debit (Q2) ....	37
<b>Tabel 8.</b> Data Pendekatan <i>Schoklitsch</i> .....	38
<b>Tabel 9.</b> Data Tegangan geser $\tau_o$ dan Tegangan geser kritis $\tau_c$ .....	40
<b>Tabel 10.</b> Data Kecepatan Geser ( $U^*$ ).....	40
<b>Tabel 11.</b> Data Pendekatan <i>Shields</i> .....	41
<b>Tabel 12.</b> Data hasil debit sedimen menggunakan persamaan rumus pendekatan <i>Schoklitsch</i> dan pendekatan tegangan geser rumus <i>Shields</i> debit (Q1) dan (Q2) .....	45



## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
A	Luas penampang saluran ( $m^2$ )
b	Lebar saluran (m)
D	Diameter butiran sedimen (m)
d	Kedalaman aliran (m)
Fr	Angka Froude
Q	Debit aliran ( $m^3/det$ ).
g	Percepatan gravitasi ( $m/det^2$ )
h	Kedalaman aliran (m)
$\phi$	Sudut kemiringan dasar
K	Faktor koreksi air
S	Kemiringan dasar saluran (m).
U	Kecepatan aliran (m/det)
$u^*$	Kecepatan geser
$\tau_c$	Tegangan geser kritis
$\tau_o$	Tegangan geser
$\gamma_s$	Berat jenis sedimen ( $kg/m^3$ )
$\gamma$	Berat jenis air ( $kg/m^3$ )
$\rho_s$	massa jenis seadimen ( $1800 kg/m^3$ )
$\rho_w$	massa jenis air ( $1000 kg/m^3$ )



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Debit Aliran.....	52
Lampiran 2. Format Pengambilan Data Pada Saat Penelitian Variasi Debit (Q1) dan (Q2).....	52
Lampiran 3. Perhitungan Bilangan Froude dan Bilangan Reynolds.....	53
Lampiran 4. Data Pendekatan <i>Schoklitsch</i> .....	54
Lampiran 5. Data Tegangan Geser ( $\tau_o$ ) dan Tegangan geser kritis ( $\tau_c$ ).....	54
Lampiran 6. Data Kecepatan Geser ( $U^*$ ).....	55
Lampiran 7. Data Pendekatan <i>Shields</i> .....	55
Lampiran 8. Data hasil debit sedimen menggunakan persamaan rumus <i>Schoklitsch</i> dan pendekatan tegangan geser rumus <i>Shields</i> .....	56
Lampiran 9. Tabel klasifikasi ukuran butir sedimen menurut Wentworth.....	57
Lampiran 10. Tabel Viskositas Kinematik.....	58
Lampiran 11. Dokumentasi.....	59



## KATA PENGANTAR

Segala Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, serta taufik dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tak lupa sholawat serta salam kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW sebaik-baiknya suri tauladan. Penyusunan tugas akhir ini yang berjudul “**STUDI EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK ALIRAN SEDIMEN DENGAN VARIASI DIAMETER BUTIRAN**” merupakan salah satu syarat yang diajukan akademik untuk menyelesaikan Program Studi Strata Satu pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Tidak dapat dipungkiri bahwa dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan . Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca sebagai bahan evaluasi agar kedepannya Tugas Akhir ini dapat Penulis perbaiki dan menjadi lebih baik lagi. Terima kasih yang sebanyak-banyaknya kami haturkan kepada setiap pihak yang telah mendukung serta membantu saya selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini, Terkhusus kepada :

1. **Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. H. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., IPM.,** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. **Bapak Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.,** selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. **Bapak Prof. Dr. Ir. H. M. Saleh Pallu, M.Eng.,** selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahannya serta kesabarannya dalam menghadapi kualitas keilmuan penulis dari mulai awal penelitian hingga selesainya tugas akhir ini. Semoga kebaikan, kesehatan serta kemudahan senantiasa dilimpahkan kepada beliau.
4. **Bapak Dr. Ir. Riswal Karamma, ST., M.T., IPM.,** Selaku Kepala Laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.



5. Bapak Ahmad Yani selaku Laboran Laboratorium Hidrolika, yang sangat membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih atas bantuannya pak.
6. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis pesembahkan kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu ayahanda **Mustakim**, dan ibunda **Rasna** atas doa, kasih sayang, dan segala dukungan yang telah diberikan, Serta kepada seluruh keluarga besar atas dorongan dan segala dukungan selama ini, baik spritiual maupun materi.
2. Pacar saya tercinta Tazkia Nurwahidah Anabanua sebagai tempat berkeluh kesah saya dan penyemangat saya.
3. Senior saya dari waktu kp kemarin kak aso dan kak iksan yang bersedia senantiasa membantu menuntun penulisan tugas akhir ini hingga selesai.
4. Teman Seperguruan saya agung surya sakti atau biasa disapa aan, ryan ramadhan, Amar, Muh. Rhifky Suprianto, Al muktazim billah dan Farhan Anhas. Terima kasih atas bantuan tempat tinggalnya dan bantuan pengerjaanya selama penyusunan tugas akhir ini.
5. Saudara-saudariku **ENTITAS 2021**, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Angkatan 2020 yang memberikan begitu banyak warna dan kenangan selama masa kuliah. Arti Sahabat akan selalu hidup, *We are the Champion Keep on Fighting Till the End, Now and Forever*



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Sedimen mengalir di sungai atau saluran terbuka secara alami. Saluran terbuka tidak hanya berfungsi sebagai aliran air, tetapi juga mengangkut material sebagai pengangkut sedimen. Angkutan sedimen di sungai disebut sebagai angkutan sedimen dasar (*bed load*) dan angkutan sedimen layang (*suspended load*) berdasarkan mekanisme pergerakannya.

Awal gerak butiran sedimen dasar merupakan awal terjadinya angkutan sedimen di suatu saluran terbuka, oleh karenanya merupakan hal penting dalam perhitungan angkutan sedimen. Awal gerak butiran dasar merupakan kondisi batas antara aliran tanpa angkutan sedimen dan aliran dengan sedimen dasar.

Sedimentasi mempengaruhi banyak aspek lingkungan seperti erosi tanah, kualitas air, pasokan air, pendangkalan sungai, umur rencana waduk, permukaan air tanah, irigasi, navigasi, perikanan, pariwisata dan lain-lain. Oleh karena proses transportasi sedimen senantiasa melakukan pergerakan, maka pada suatu periode tertentu permukaan dasar sungai kadang-kadang naik (*agradasi*), tetapi pada periode yang lain terkadang turun (*degradasi*). Naik turunnya dasar sungai disebut sebagai alterasi dasar sungai (*river bed alteration*).

Angkutan sedimen yang dialirkan melalui saluran terbuka atau sungai dapat menyebabkan penumpukan sedimen terutama dibagian hilir. Angkutan sedimen yang diangkut oleh aliran dapat menyebabkan pendangkalan dan penyumbatan pada saluran. Akibatnya, saluran tidak dapat memaksimalkan fungsinya sehingga Input menyebabkan banjir. Dengan banyaknya timbunan sedimen pada saluran, dibutuhkan upaya normalisasi berupa pengerukan dan pembersihan endapan dengan biaya yang cukup besar. Salah satu upaya pencegahan hal tersebut adalah dengan pembuatan saluran yang memperhatikan desain tepat guna.

Perbedaan tipe bentuk dasar saluran yang terjadi dan hambatan aliran beserta asasi sedimen sangat terkait dengan parameter-parameter hidrolis seperti saluran, kedalaman, kemiringan, viskositas dan lain-lain yang berpengaruh membentuk dasar saluran. Dengan menggunakan parameter-parameter yang ditemukan oleh para rekayasawan / ilmuwan diharapkan dapat menjadi



acuan untuk menganalisis, memperkirakan dan meminimalisir resiko permasalahan yang timbul khususnya pada saluran terbuka, sehingga untuk mengetahui konsentrasi sedimen biasanya dilakukan pengambilan sampel berupa debit aliran dan konsentrasi sedimen pada bagian tengah sungai yang juga tidak dipengaruhi oleh pertemuan aliran sungai lainnya. Dari data sampel dapat diketahui hubungan besarnya aliran dengan konsentrasi sedimen. Dengan latar belakang ini, sangat menarik untuk dilakukan penelitian/studi terhadap pengaruh besarnya aliran terhadap konsentrasi sedimen, sehingga dapat digambarkan hubungan antara besarnya debit aliran dengan total angkutan sedimen.

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis ingin meneliti lebih dalam mengenai awal gerak sedimen pada saluran terbuka dengan judul **STUDI EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK ALIRAN SEDIMEN DENGAN VARIASI DIAMETER BUTIRAN**.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang terkait, maka dapat dirumuskan beberapa masalah yaitu:

1. Bagaimana pengaruh debit aliran terhadap sedimen yang terangkut
2. Bagaimana pengaruh perubahan debit aliran terhadap konsentrasi sedimen
3. Bagaimana cara mendapatkan hubungan antara  $q_w$  dan  $q_s$

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis pengaruh debit aliran terhadap volume sedimen yang terangkut
2. Menganalisis Pengaruh debit aliran terhadap konsentrasi sedimen
3. Mendapatkan hubungan antara debit air dan debit sedimen

## 1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan

Secara teoritis, manfaat dari penelitian ini yaitu untuk meningkatkan pemahaman terkait studi eksperimental karakteristik aliran sedimen dengan variasi butiran, sehingga dapat dijadikan pertimbangan maupun acuan dalam knis saluran yang terjadi hambatan aliran beserta penumpukan sedimen.



## 1.5 Batasan Masalah

Pembatasan suatu masalah digunakan untuk menghindari adanya penyimpangan maupun pelebaran pokok masalah agar penelitian tersebut lebih terarah dan memudahkan dalam pembahasan sehingga tujuan penelitian akan tercapai. Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan data dilakukan di Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin menggunakan alat saluran terbuka.
2. Data yang digunakan untuk penulisan ini berasal dari hasil pengujian di laboratorium.
3. Karakteristik aliran sedimen yang dimaksudkan pada penelitian ini adalah volumen sedimen, debit sedimen dan konsentrasi sedimen
4. Menggunakan beberapa variasi butiran diameter sedimen dan rentang variasinya (0,15 mm, 0,30 mm hingga 0,60 mm).
5. Kemiringan dasar saluran yang digunakan 0,05



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Uraian

Transportasi sedimen merupakan salah satu fenomena alam yang sering dijumpai pada berbagai macam saluran terbuka, sungai-sungai alam dan reservoir (waduk). (Zaini Miftach, 2018).

Dalam bidang rekayasa keairan, studi transportasi sedimen dengan segala fenomenanya merupakan suatu hal yang sangat penting.

Sejak peradaban manusia, proses sedimentasi mempengaruhi persediaan air, irigasi, pertanian, pengendalian banjir, perpindahan sungai, proyek hidroelektrik, navigasi, perikanan dan habitat air. Beberapa tahun belakangan dikemukakan bahwa sedimentasi memiliki peran yang penting dalam transportasi yang dapat mempengaruhi pertumbuhan ekonomi, untuk itu diperlukannya pengendalian sedimentasi.

Proses sedimentasi berjalan sangat kompleks, dimulai dari jatuhnya hujan yang menghasilkan energi kinetik yang merupakan permulaan dari proses erosi. Begitu tanah menjadi partikel halus kemudian menggelinding bersama aliran, sebagian akan tertinggal diatas tanah sedangkan yang lainnya masuk ke sungai terbawa aliran menjadi angkutan sedimen. Pengetahuan mengenai angkutan sedimen yang terbawa oleh aliran sungai dalam kaitanya dengan aliran sungai akan mempunyai arti penting bagi kegiatan pengembangan dan manajemen sumber daya air, konservasi tanah dan perencanaan bangunan pengaman sungai. Pengetahuan mengenai sedimen yang melayang terbawa ataupun sedimen yang bergerak di dasar sungai. Proses sedimentasi meliputi proses erosi, angkutan (transportation), pengendapan (deposition) dan pemadatan (compaction) dari sedimentasi itu sendiri. Bentuk, ukuran dan beratnya partikel tanah akan menentukan jumlah besarnya angkutan sedimen. (Soewarno, 2000).



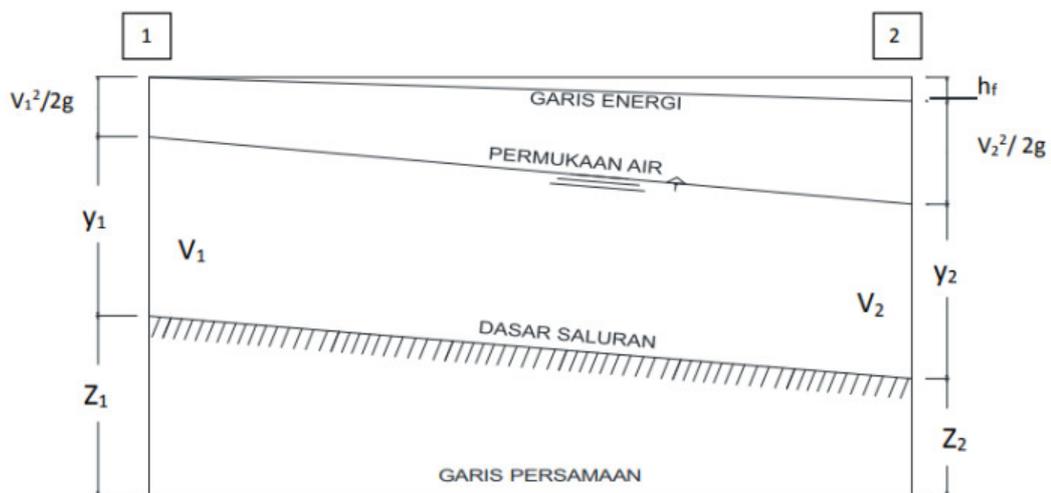
### **konsep Dasar Aliran Pada Saluran Terbuka**

Saluran terbuka merupakan saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada saluran terbuka, misalnya sungai (saluran alam) variabel aliran sangat

tidak teratur terhadap ruang dan waktu. Variabel tersebut adalah tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan debit aliran dan sebagainya (Triatmodjo, 2015).

Secara Prinsip sipil aliran pada saluran terbuka adalah sesuatu jenis aliran yang memiliki permukaan bebas (*free surface*), dan cenderung fluktuatif sesuai kondisi ruang dan waktu, hal inilah yang biasanya menyebabkan kesulitan dalam memperoleh data yang akurat mengenai aliran pada saluran terbuka dapat dibedakan menurut asalnya menjadi dua macam saluran yaitu: saluran alam (*natural channels*) dan saluran buatan (*artificial channels*). Kondisi aliran dalam saluran terbuka yang rumit berdasarkan kenyataan bahwa kedudukan permukaan bebas cenderung berubah sesuai dengan ruang dan waktu, seperti kedalaman aliran, debit dan kemiringan dasar semuanya saling berhubungan satu sama lain.

Secara skematis, proses pengaliran yang terjadi pada saluran terbuka dapat dilihat pada gambar 1 seperti berikut :



**Gambar 1.** Skema aliran pada saluran terbuka (Chow, V.T., 1997)

Pada gambar 1 diatas menjelaskan bahwa, tekanan yang ditimbulkan oleh air pada setiap penampang saluran setinggi  $y$  diatas dasar saluran. Jumlah energi dalam aliran di penampang saluran berdasarkan suatu garis persamaan adalah jumlah tinggi tempat  $z$  diukur dari dasar saluran, tinggi tekanan  $y$  dan tinggi kecepatan dengan  $V$  adalah kecepatan rata-rata aliran. Energi ini dinyatakan dalam dengan suatu garis derajat energi (energy grade line) atau disingkat garis



energi (energy line). Energi yang hilang ketika pengaliran terjadi dari penampang (1) ke penampang (2) dinyatakan dengan hf.

Secara umum, persamaan dasar yang dipakai untuk menganalisa debit (Q) aliran pada saluran terbuka, yang berlaku untuk suatu penampang saluran untuk sembarang aliran dapat dilihat dalam rumus berikut :

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

dimana :

$$Q = \text{Debit (m}^3/\text{det)}$$

$$V = \text{Kecepatan rata-rata (m/det)}$$

$$A = \text{Luas penampang saluran (m}^2\text{)}$$

Untuk menghitung luas permukaan saluran, dapat dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut :

$$A = b \cdot h \quad (2)$$

dimana :

$$A = \text{Luas penampang saluran (m}^2\text{)}$$

$$b = \text{Lebar saluran (m)}$$

$$h = \text{Tinggi saluran (m)}$$

untuk menghitung kecepatan rata-rata rumus yang digunakan adalah :

$$V = \frac{Q}{b \cdot h} \quad (3)$$

Tipe aliran dapat dibedakan menggunakan bilangan Reynolds. Menurut Reynolds tipe aliran dibedakan sebagai berikut :

- a. Aliran laminar adalah suatu tipe aliran yang ditunjukkan oleh gerak partikel-partikel menurut garis-garis arusnya yang halus dan sejajar. Dengan nilai Reynolds lebih kecil lima ratus ( $Re < 500$ ).

Aliran turbulen mempunyai nilai bilangan Reynolds lebih besar dari seribu ( $Re > 1000$ ), aliran ini tidak mempunyai garis-garis arus yang halus dan sejajar sama sekali.



- c. Aliran transisi biasanya paling sulit diamati dan nilai bilangan Reynolds antara lima ratus sampai seribu (500.Re.1000).

Persamaan untuk menghitung bilangan Reynolds yaitu :

$$Re = \frac{UL}{\nu} \quad (4)$$

dimana :

Re = bilangan Reynolds

U = kecepatan aliran (m/det)

L = panjang karakteristik (m)

$\nu$  = viskositas kinematik ( $m^2/det$ )

Tipe aliran dapat juga dibedakan dengan bilangan Froude, yaitu :

- Aliran kritis, jika bilangan Froude sama dengan satu ( $Fr = 1$ ) dan gangguan permukaan misal, akibat riak yang terjadi akibat batu yang dilempar ke dalam sungai tidak akan bergerak menyebar melawan arah arus.
- Aliran subkritis, jika bilangan Froude lebih kecil dari satu ( $Fr < 1$ ). Untuk aliran subkritis, kedalaman biasanya lebih besar dan kecepatan aliran rendah (semua riak yang timbul dapat bergerak melawan arus).
- Aliran superkritis, jika bilangan Froude lebih besar dari satu ( $Fr > 1$ ). Untuk aliran superkritis, kedalaman aliran relatif lebih kecil dan kecepatan relatif tinggi (segala riak yang ditimbulkan dari suatu gangguan adalah mengikuti arah arus). (Zulhusni et al., 2017)

Persamaan untuk menghitung bilangan Froude yaitu:

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gh}} \quad (5)$$

dimana :

Fr = bilangan Froude

U = kecepatan aliran (m/det)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/det^2$ )

$h$  = kedalaman aliran (m)



## 2.3 Angkutan Sedimen

### 2.3.1 Sedimen Dasar

Angkutan sedimen merupakan gerak partikel sedimen yang diangkut oleh aliran fluida, kemudian diendapkan sebagai lapisan partikel padat di dasar air. Angkutan sedimen dipengaruhi oleh sifat – sifat zat cair yaitu rapat massa ( $\rho$ ), viskositas ( $\nu$ ), kecepatan ( $u$ ), dan tegangan geser ( $\tau_0$ ).

Angkutan sedimen dibedakan menjadi 2 jenis yakni angkutan sedimen masif (*mass movement*) dan angkutan sedimen individu (*individual movement*). Angkutan sedimen masif didominasi oleh gaya gravitasi sebagai misal adalah aliran debris (*debris flow*), aliran lumpur, tanah longsor (*landslides*), dan aliran piroklastik (*pyroclastic flow*). Sedangkan angkutan sedimen individu dipengaruhi oleh gaya tekanan air (fluida) sebagai misal transpor sedimen dasar (*bed load*), transpor sedimen suspensi (*suspended load*), dan wash load (Kusumosubroto, 2013).

Angkutan sedimen dalam arti umum dapat diartikan sebagai terbawanya butiran atau material dasar sedimen didalam aliran sungai, baik yang merupakan hasil penggerusan / erosi pada medan di catchment area maupun pada tepi dan dasar di bagian hulu sungai kemudian terendap.

Adapun medan catchment area yang dimaksudkan adalah Daerah Aliran Sungai (DAS) yang keadaan topografinya memungkinkan terjadinya proses penggerusan terhadap lapisan permukaan tanah / batuan, yang kemudian hasil pengerusan tersebut diangkut oleh air ke dalam sungai atau system sungai.

Penggerusan yang terjadi pada medan catchment area ini disebabkan oleh beberapa faktor, yang mana nantinya juga akan mempengaruhi kapasitas sedimen yang terangkut oleh sungai. Adapun faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut :

#### a. Karakteristik hujan

Karakteristik dari hujan yang jatuh di daerah pengaliran antara lain adalah intensitas, frekuensi serta durasinya, hal ini sangat mempengaruhi penggerusan / erosi dari pada batuan yang membentuk daerah pengaliran, terlebih pada daerah pegunungan dimana air hujan yang mengalir diatas permukaan tanah dengan mudahnya mengikis lapisan atasnya serta menghanyutkannya ke dalam alur sungai.

penutup tanah



Faktor penutup tanah yang dimaksudkan disini adalah tanaman atau vegetasi. Biasanya tanaman yang menutupi daerah pengaliran sungai akan sangat membantu pada penurunan erosi pada batuan didaerah pengaliran, karena tanaman atau vegetasi dapat menaikkan daya tahan tanah terhadap erosi.

c. Daya tahan tanah terhadap erosi (Erodibilitas)

Erodibilitas tanah, atau faktor kepekaan erosi tanah yang merupakan daya tahan tanah baik terhadap penglepasan dan pengangkutan, terutama tergantung pada sifat- sifat tanah, seperti tekstur, stabilitas agregat, kekuatan geser, kapasitas infiltrasi, kandungan bahan organik dan kimiawi. Di samping itu, juga tergantung pada posisi topografi, kemiringan lereng, dan gangguan oleh manusia.

d. Kemiringan lereng medan

Kemiringan lereng medan juga sangat menentukan besarnya penggerusan , yaitu jika kemiringan lereng medan semakin tajam, maka penggerusan yang terjadi akan semakin besar.

e. Pengaruh kegiatan manusia

Erosi yang disebabkan oleh kegiatan manusia semestinya tidak diabaikan begitu saja yang diantaranya adalah penggundulan hutan, bercocok tanam pada lereng-lereng pegunungan yang curam dan pembangunan jaringan jalan didaerah pegunungan. Pada semua keadaan tersebut ketahanan butiran tanah terhadap titik-titik air yang menyimpannya dan terhadap aliran permukaan sangat menurun, sehingga keseimbangan mekanis dari lereng-lereng tersebut akan terganggu, menyebabkan timbulnya erosi lereng, keruntuhan lereng, atau tanah longsor.

Seperti penjelasan diatas bahwa selain penggerusan pada medan catchment area, sedimen yang di sungai juga dihasilkan dari penggerusan pada tepi dan dasar sungai di bagian upstream sungai. Kondisi ini terjadi mengingat bahwa pada bagian upstream sungai atau saluran yang terletak di daerah pegunungan adalah merupakan

sungai dimana secara topografis kemiringannya sangat besar, sehingga aliran yang terjadi juga sangat besar, yang mana dengan kecepatan aliran menyebabkan mudahnya terjadi penggerusan. Mekanisme kerja dari



beberapa faktor yang berpengaruh pada terjadinya penggerusan (erosi) di areal saluran seperti hujan, angin, limpasan permukaan, jenis tanah, kemiringan lereng, penutupan tanah baik oleh vegetasi atau lainnya, serta ada atau tidaknya tindakan konservasi, sebetulnya tidak dapat dipisah-pisahkan antara satu dengan yang lainnya, karena semuanya saling berhubungan.

### 2.3.2 Bahan Angkutan Sedimen

Pada umumnya bentuk partikel sedimen dibedakan berdasarkan ukuran butir sedimen.

**Tabel 1.** Skala ASTM (American Society of Testing Material)

Jenis	Kisaran Ukuran Butiran
Bongkah	>256mm
Berangkal	64-256mm
Kerakal	4-64mm
Kerikil	2-4mm
Pasir sangat kasar	1-2mm
Pasir kasar	0,5-1mm
Pasir sedang	0,25-0,5mm
Pasir halus	0,125-0,25mm
Lanau	0,0039-0,063mm
Clay/Lempung	<0,0039mm

...mudian diklasifikasikan lebih spesifik berdasarkan skala Wentworth  
...pel berikut.



**Tabel 2.** Klasifikasi ukuran butir sedimen menurut Wentworth

Klasifikasi		Diamter Partikel (mm)
Berangkal	Sangat besar	4096 – 2048
	Besar	2048 – 1024
	Sedang	1024 – 512
	Kecil	512 – 256
kerangkal	Besar	256 – 128
	kecil	128 – 64
Koral (Kerikil besar)	Sangat kasar	64 – 32
	Kasar	32 – 16
	Mediun	16 – 8
	Halus	8 – 4
Kerikil	Sangat halus	4 – 2
Pasir	Sangat kasar	2 – 1
	Kasar	1 – 0,5
	Sedang	0,5 – 0,25
	Halus	0,25 – 0,125
Lumpur	Sangat Halus	0,125 – 0,062
	Kasar	0,062 – 0,031
	Sedang	0,031 – 0,016
	Halus	0,016 – 0,008
Lempung	Sangat Halus	0,008 – 0,004
	Kasar	0,004 – 0,002
	Sedang	0,002 – 0,001
	Halus	0,001 – 0,0005
	Sangat Halus	0,0005 – 0,00024

Sumber : Muhammad Arsyad Thaha (2006)

## 2.4 Angkutan Sedimen Di Sungai

Angkutan sedimen merupakan hasil proses erosi, baik erosi permukaan, erosi parit, atau tipe erosi lainnya. Sedimen yang dihasilkan dari proses erosi tersebut akan diangkut oleh aliran air permukaan dan diendapkan pada suatu tempat yang kecepatannya melambat atau terhenti (Arianti dkk, 2012).

Pada dasarnya adanya sedimen di sungai disebabkan oleh terjadinya penggerusan / erosi pada medan di catchment area dan penggerusan pada tepi dan dasar sungai di bagian upstream dan mengendap pada bagian downstream sungai,

proses erosi tebing juga mempunyai sumbangan terhadap sedimen namun yang sangat kecil sehingga dapat dianggap sebagai proses alami. (Asdak.,



Kecepatan endapan sedimen sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, berat jenis fluida, berat jenis partikel, viskositas fluida, jenis aliran dan bentuk partikel. Sedimentasi ini merupakan faktor penting dalam permasalahan sungai (Ramadhan et al., 2020).

Dua sifat yang mempengaruhi media untuk mengangkut partikel sedimen adalah berat jenis (density) dan kekentalan (viscosity) media. Berat jenis media akan mempengaruhi gerakan media, terutama cairan. Sebagai contoh air sungai yang bergerak turun karena berat jenis yang langsung berhubungan dengan gravitasi. Sedangkan kekentalan akan berpengaruh pada kemampuan media untuk mengalir.

Berdasarkan pada jenis sedimen dan bahan induk yang menyusunnya dikenal bermacam sedimen seperti pasir, tanah liat, dan lain sebagainya. Tergantung dari ukuran partikelnya, maka angkutan sedimen dapat digolongkan dalam 2 (dua) bagian yang tergantung pada permulaan gerak butir sedimen. Kedua macam angkutan sedimen tersebut adalah sebagai berikut.

### 1. **Angkutan Sedimen Dasar (*Bed Load Transport*)**

Sedimen dasar (bed load) adalah partikel yang bergerak pada dasar sungai dengan cara berguling, meluncur dan meloncat. Muatan dasar keadaanya selalu bergerak, oleh sebab itu pada sepanjang aliran dasar sungai selalu terjadi proses degradasi dan aggradasi yang disebut sebagai "alterasi dasar sungai". 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.

Kerugian terbesar dari mengendapnya aliran sedimen di dasar sungai adalah terjadinya pendangkalan. Pendangkalan tersebut adalah banjir dan terhambatnya lalu-lintas kapal pada saat air surut. Hal ini penting untuk diketahui karena sebenarnya struktur sedimen merupakan suatu catatan (record) tentang proses yang terjadi sewaktu sedimen tersebut diendapkan. Umumnya proses itu merupakan hasil langsung dari gerakan media pengangkut. Namun demikian sifat fisik (ragam bentuk dan berat jenis) butiran sedimen itu sendiri mempunyai pengaruh proses mulai dari erosi, transportasi sampai ke pengendapan (Arta O. Sumanu, 2012)



## 2. Angkutan Sedimen Layang (*Suspended Load Transport*)

Sedimen melayang (*suspended load*) yaitu partikel yang bergerak dalam aliran yang cenderung terus menerus melayang bersama aliran. Muatan sedimen layang bergerak bersama dengan aliran air sungai, terdiri dari pasir halus yang senantiasa didukung oleh air, dan hanya sedikit sekali berinteraksi dengan dasar sungai karena sudah didorong ke atas oleh turbulensi aliran (Diansari R., 2014).

Partikel sedimen bergerak secara melayang (*suspended load*) karena adanya pengaruh gaya berat, partikel-partikel tersebut cenderung untuk mengendap. Kecenderungan untuk mengendap ini akan dilawan oleh gerakan partikel zat cair, yaitu komponen fluktuasi kecepatan dari aliran turbulen. Dengan kata lain kondisi aliran yang ada akan menentukan apakah suatu fraksi sedimen akan bergerak sebagai sedimen suspensi atau bukan.

Angkutan sedimen melayang sering disertai dengan angkutan sedimen dasar, dan transisi antara dua metode transport tersebut dapat macam bertahap, sesuai dengan perubahan kondisi aliran. Umumnya aliran sungai keadaannya adalah turbulen, oleh karena itu tenaga gravitasi partikel sedimen dapat ditahan oleh gerakan turbulensi (fluktuasi) aliran dan pusaran arus yang akan membawa partikel sedimen kembali ke atas. Dari uraian ini jelas bahwa angkutan sedimen suspensi dapat dibedakan menjadi tiga keadaan :

- a. Apabila tenaga gravitasi partikel sedimen lebih besar daripada tenaga turbulensi aliran, maka partikel sedimen akan mengendap dan akan terjadi pendangkalan pada dasar sungai.
- b. Apabila tenaga gravitasi partikel sedimen sama dengan tenaga turbulensi aliran, maka akan terjadi keadaan seimbang dan partikel sedimen tersebut tetap konstan terbawa aliran sungai ke arah hilir.
- c. Apabila tenaga gravitasi partikel sedimen lebih kecil daripada tenaga turbulensi aliran, maka dasar sungai akan terkikis dan akan terjadi penggerusan pada dasar sungai.

Secara keseluruhan permasalahan muatan sedimen layang sangat rumit. Sifat fisik

partikel sedimen dan volume sedimennya sangat berbeda-beda dari tempat satu ke tempat lain dan dari waktu ke waktu. Demikian juga tentang turbulensi aliran yang merupakan variabel yang tidak dapat diukur, akan menambah rumitnya

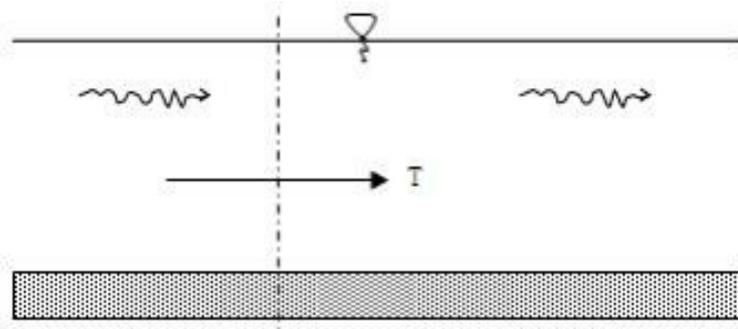


permasalahan muatan sedimen melayang. Suatu sedimen dikatakan melayang apabila gaya angkatnya lebih besar daripada gaya beratnya.

## 2.5 Angkutan Dasar (Transport Sedimen)

Apabila gerakan partikel sedimen dalam keadaan terguling, tergelincir, atau kadang-kadang meloncat sepanjang dasar, hal ini disebut angkutan dasar (bed load transport). Pada umumnya, besarnya angkutan dasar pada dasar sungai berkisar 525% dari angkutan melayang (Muhammad Saleh Pallu, 2012).

Menurut Mardjikoen (1987), angkutan sedimen merupakan perpindahan tempat bahan sedimen granular (non kohesif) oleh air yang sedang mengalir searah aliran. Banyaknya angkutan sedimen T dapat ditentukan dari perpindahan tempat suatu sedimen yang melalui suatu tampang lintang selama periode waktu yang cukup, lihat Gambar 2, T dinyatakan dalam (bentuk, massa, volume) tiap satuan waktu.



**Gambar 2.** Tampang memanjang saluran dengan dasar granular  
(Sumber : Mardjikoen, 1987)

Pada saluran dengan dasar moveable bed (material sedimen non kohesif yang dapat bergerak), akan terjadi interaksi antara aliran dengan dasar. Perubahan aliran dapat menyebabkan terjadinya perubahan konfigurasi dasar (tinggi kekasaran). Jenis/phase dari konfigurasi dasar saluran tergantung dari sifat/jenis aliran dan bahan penyusun material dasar (pasir, kerikil)

$$u = 5,75 u_* \log (12R/k) \quad (6)$$

$k$  adalah nilai koefisien kekasaran. Nilai koefisien kekasaran selalu konstan pada setiap studi saluran terbuka dan umumnya ditetapkan konstan. Nilai koefisien kekasaran sangat bervariasi, tergantung rumus



pendekatannya, dalam hal ini memakai persamaan Prandtl untuk tampang persegi dengan permukaan kasar,

$$\frac{V}{U_*} = 6,25 + 5,75 \log \frac{R}{k_s} \quad (7)$$

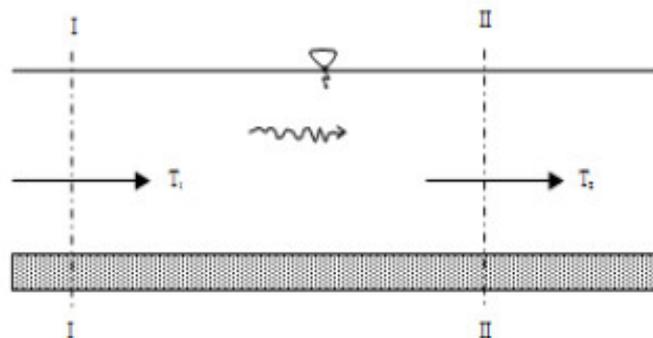
Khusus untuk saluran dengan dasar saluran berupa pasir, nilai  $k_s$  adalah ekuivalen dengan diameter sedimen yaitu :

$$k_s = d_{65} \text{ (Einstein, 1950)}$$

$$k_s = d_{90} \text{ Meyer-Peter, Miiller, 1948)}$$

$$k_s = d_{85} \text{ (Simons dan Richard, 1966)}$$

Laju sedimen yang terjadi bisa dalam kondisi seimbang (equilibrium), erosi (erosion), atau pengendapan (deposition), maka dapat ditentukan kuantitas sedimen yang terangkut dalam proses tersebut. Proses sedimentasi di dasar saluran ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Angkutan sedimen pada tampang panjang dengan dasar granular (Sumber : Mardjikoen, 1987)

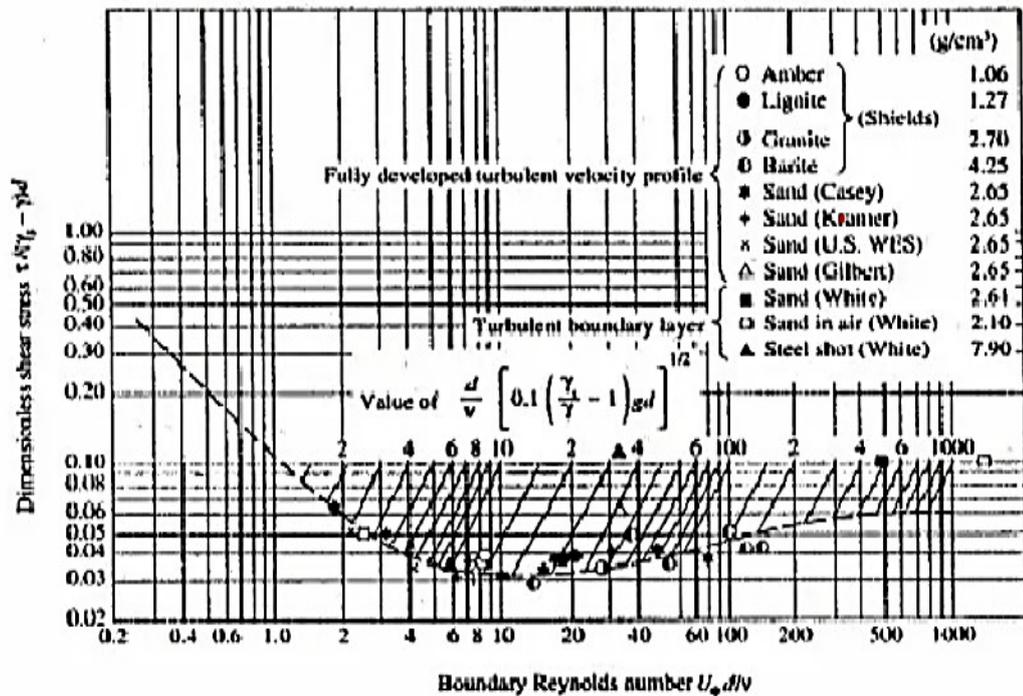
Perbandingan Jumlah T	Proses yang terjadi	
	Sedimen	Dasar
$T_1 = T_2$	Seimbang	Stabil
$T_1 < T_2$	Erosi	Degradasi
$T_1 > T_2$	Pengendapan	Agradasi

**Tabel 3.** Proses sedimentasi (Sumber : Mardjikoen, 1987))

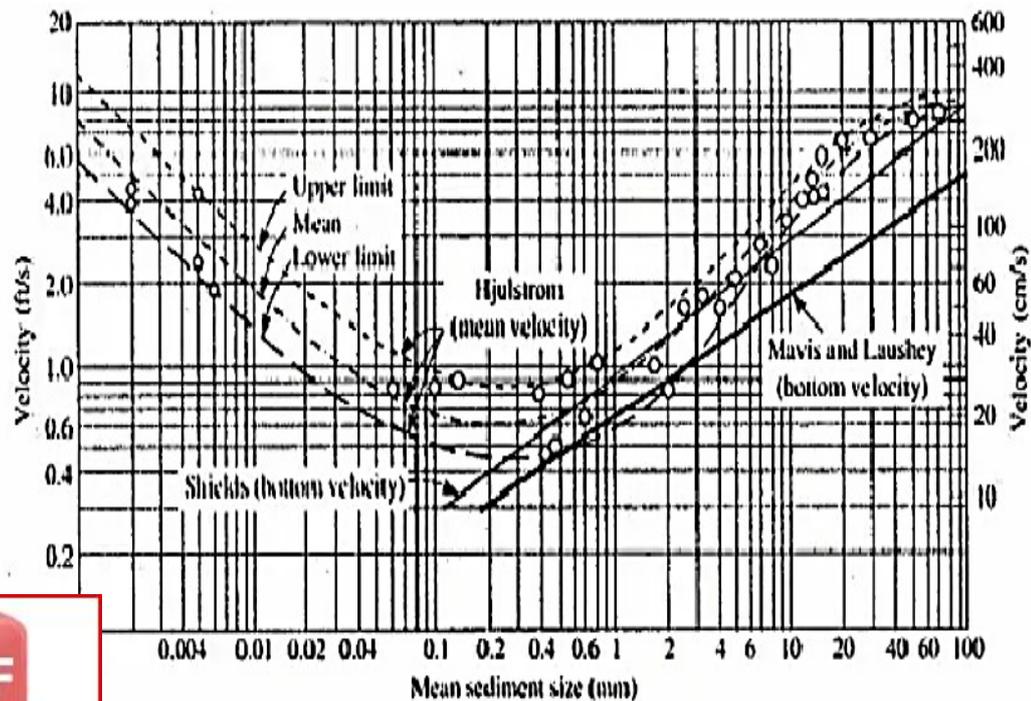


ori permulaan gerak dengan pendekatan tegangan geser menurut Shield, dapat dilihat pada grafik di Gambar 2. Secara umum sangat sulit untuk menguraikan secara analitik berapa besar gaya-gaya yang bekerja pada partikel

sedimen, sehingga dengan melakukan analisis dimensi dari beberapa parameter sehingga dapat membuat diagram penulaa gerak dengan pendekatan tegangan geser. Faktor yang berpengaruh dalam penetapan permulaan gerakan butir antara lain adalah tegangan geser, perbedaan rapat masa air dengan rapat massa sedimen,



Gambar 4. Grafik tegangan geser



Gambar 5. Grafik kecepatan kritik



## 2.6 Perhitungan Pendekatan Angkutan Sedimen Dasar

Dari hasil pengambilan data di lapangan dan laboratorium, dilakukan pengolahan data untuk mengetahui karakteristik sedimen.

Untuk mendapatkan jumlah sedimen yang lewat pada suatu periode tertentu (Sediment rate), maka dilakukan metode dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

- a. Menghitung Konsentrasi Sedimen ( $C_s$ ) dengan rumus sebagai berikut:

$$C_s = \frac{w_s}{w_{total}} \quad (8)$$

dimana :

$C_s$  = Konsentrasi Sedimen

$w_s$  = Berat Kadar Lumpur (gram)

$w_{total}$  = Air + Berat kadar lumpur (gram)

- b. Menghitung Debit Sedimen

Nilai sedimen dasar (*bed load*) dapat kita peroleh dengan menggunakan rumus angkutan sedimen yang dikembangkan oleh para ahli hidrolika yang meliputi :

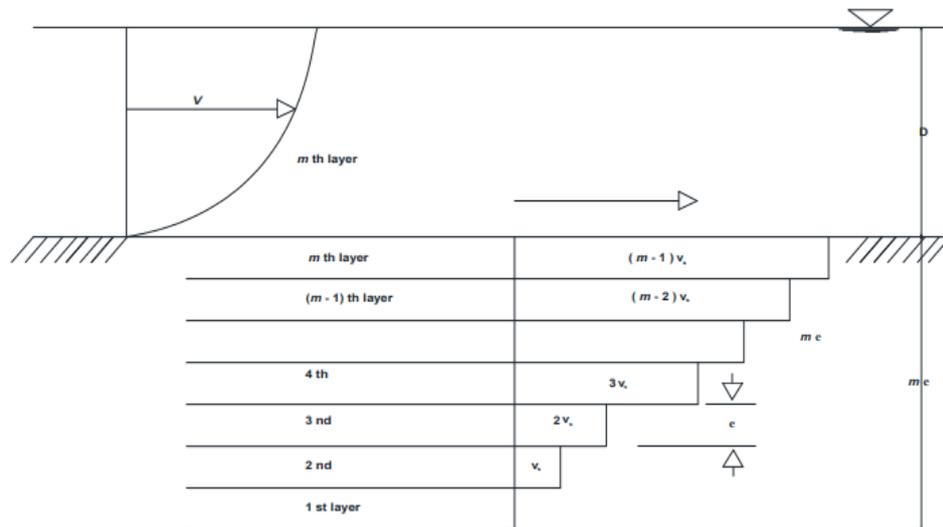
- 1) Pendekatan DuBoys

DuBoys menyatakan bahwa proses pengangkutan sedimen dimulai ketika tegangan gesek atau gaya angkut pada permukaan dasar mencapai ambang nilai kritis. Setelah itu, laju pengangkutannya dipertimbangkan sebagai hasil dari perbedaan antara tegangan gesek aktual dan nilai kritisnya. Persyaratan untuk perhitungan angkutan sedimen menggunakan metode DuBoys adalah ukuran parameter rata-rata sedimen dan tegangan geser kritis. Ukuran partikel ini berkisar 0,1 mm sampai 4 mm (Soemarto, 1999).

Menurut DuBoys (1897) dalam hipotesanya tentang besarnya pengangkutan endapan sedimen, yaitu bahwa dari suatu aliran dapat dianggap sebagai suatu rangkaian lapisan-lapisan yang saling menutupi dengan kecepatan yang berbeda-beda, seperti linear dari nol di bawah permukaan, sampai dengan nilai maksimum pada pertemuan antara fluida dan dasar yang padat, Lapisan ini bergerak karena gaya traksi



yang bekerja di sepanjang dasar. Ketebalan setiap lapisan adalah  $\epsilon$ . Dalam kondisi kesetimbangan, gaya traktif harus diimbangi oleh gaya tahanan total di antara lapisan-lapisan ini, yaitu:



**Gambar 6.** Sketsa model bed load menurut DuBoys ( Pallu, M. S., 2012 )

$$\tau = \gamma DS = C_f m \epsilon (\gamma_s - \gamma) \quad (9)$$

Dengan :

$\tau$  = tegangan geser

$C_f$  = koefisien gesek

$m$  = jumlah total lapisan

$\epsilon$  = ketebalan lapisan

$D$  = kedalaman air

$S$  = kemiringan saluran

$\gamma_s$  dan  $\gamma$  = berat jenis spesifik sedimen dan air

Jika variasi kecepatan linier antara lapisan pertama sampai lapisan ke  $m$ , total debit dengan volume per unit kedalaman saluran adalah :

$$q_b = \epsilon V_s \frac{m(m-1)}{2} \quad (10)$$

dengan  $V_s$  = kecepatan lapisan kedua (lihat gambar 6). Pada gerakan awal,  $m=1$ , maka persamaan 3.1 menjadi

$$\tau_c = C_f m \epsilon (\gamma_s - \gamma) \quad (11)$$

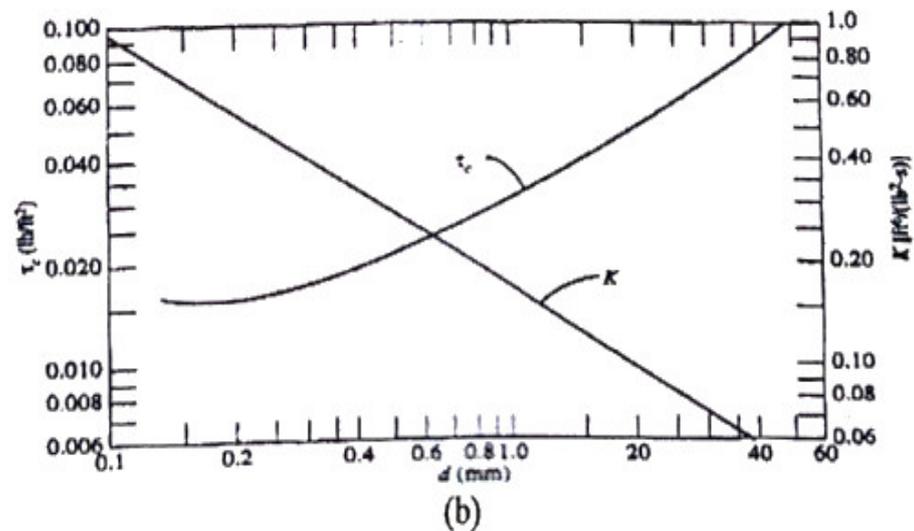
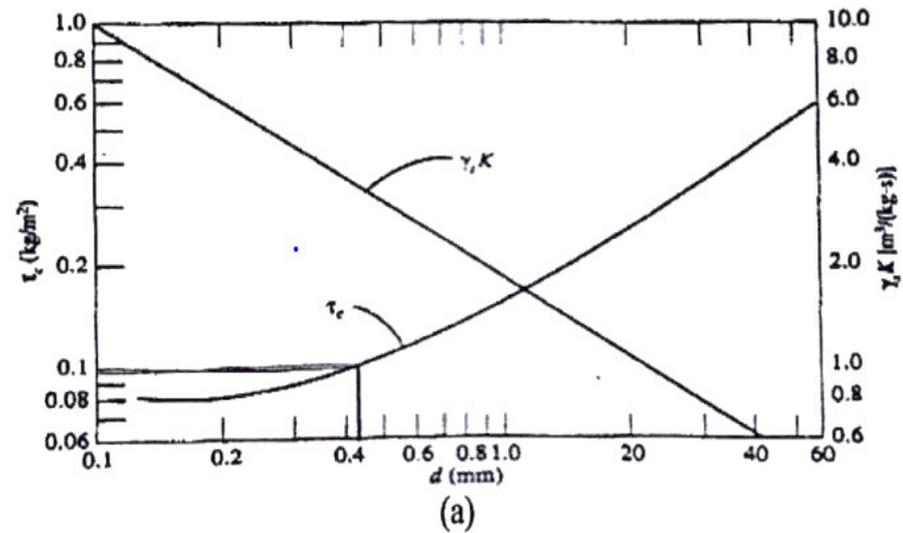


Dan

$$m = \frac{\tau}{\tau_c} \quad (12)$$

dimana :

$\tau_c$  = gaya tarik kritis sepanjang dasar.



**Gambar 7.** Parameter sedimen dan gaya geser kritis untuk persamaan bed load menurut DuBoys, (a) satuan meter ; (b) satuan inggris

Dari persamaan (10) dan (12), maka debit angkutan dasar menjadi,

$$qb = \frac{\varepsilon Vs}{2\tau^2} \tau(\tau - \tau_c) = K\tau(\tau - \tau_c) \quad (13)$$



Koefisien K pada persamaan (13) tergantung pada karakteristik partikel sedimen, Straub (1935) menemukan bahwa nilai k pada persamaan (13) tergantung pada ukuran partikel d.

$$K = \frac{0,173}{d^{3/4}} = (m^3/s)/m \quad (14)$$

Nilai K dalam persamaan (14) dalam satuan Inggris, kecuali nilai d dalam mm.

Jadi persamaan DuBoys menjadi :

$$q_b = \frac{0,173}{d^{3/4}} \tau (\tau - \tau_c) = (m^3/s)/m \quad (15)$$

Hubungan antara  $\tau_c$ , K dan d diperlihatkan pada gambar 7 nilai  $\tau_c$  dapat ditentukan dari diagram tersebut.

Kesimpulannya bahwa rumus DuBoys dihasilkan dari percobaan yang dilakukan pada flume yang kecil dengan range yang kecil, sehingga aplikasinya sangat cocok untuk penelitian dengan studi prototipe.

## 2) Pendekatan Shields

pendekatan Shields (1936) dalam penelitiannya mengenai pergerakan awal dari sedimen dengan mengukur kondisi aliran dengan sediment transport yang lebih besar dari nol dan kemudian memberikan hubungan terhadap penentuan kondisi aliran yang berhubungan pada gerak yang baru mulai.

$$\frac{q_b \gamma_s}{q \gamma S} = 10 \frac{(\tau - \tau_c)}{(\gamma_s - \gamma) d} \quad (16)$$

dimana :

$q_b, q$  = debit angkutan sedimen dan debit air per satuan lebar saluran ( $m^3/det$ )

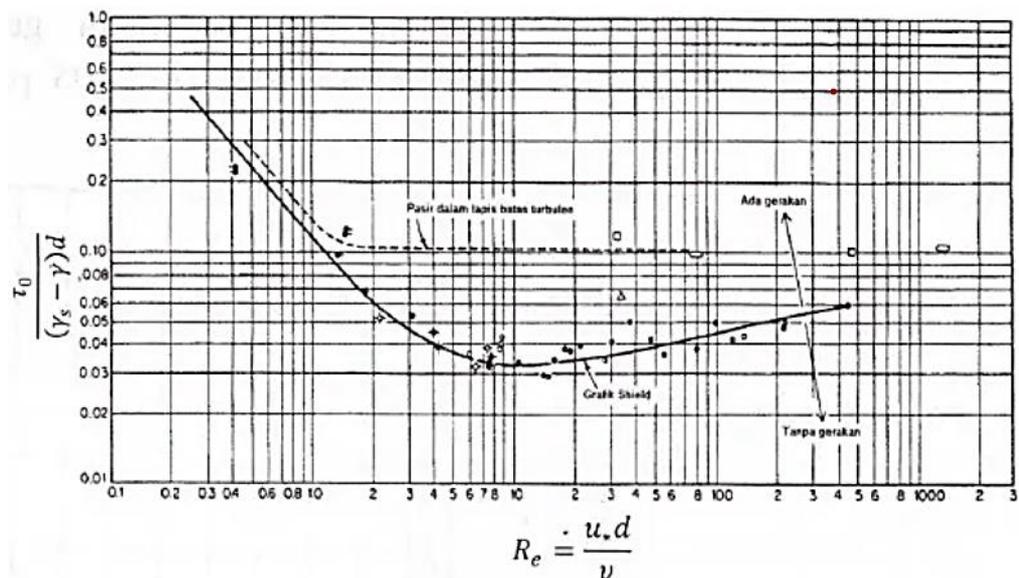
$D$  = diameter partikel sedimen (m)

$\tau$  = tegangan geser ( $N/m^2$ )

$\tau_c$  = tegangan kritis, dapat diperoleh dari diagram Shields ( $N/m^2$ )

$\gamma_s, \gamma$  = berat jenis sedimen dan berat jenis air ( $kg/m^3$ )





**Gambar 8.** Diagram Shields untuk gerakan awal butiran

Dalam studi gerakan awal sedimen, Shields menentukan besarnya angkutan sedimen dasar dengan rumus semi empiris.

### 3) Pendekatan Meyer-Peter

Ahli yang pertama kali menemukan pendekatan dengan parameter slope energi ini adalah Meyer-Peter (1934). Meyer-Peter melakukan studi laboratorium secara intensif mengenai sediment transport, yang kemudian menemukan rumus *bed load* dengan menggunakan sistem metrik sebagai berikut :

$$\frac{0,4q_b^{2/3}}{d} = \frac{q^{2/3}S}{d} - 17 \quad (17)$$

dimana :

$q_b$  = debit bed load ( $m^3/det$ )

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

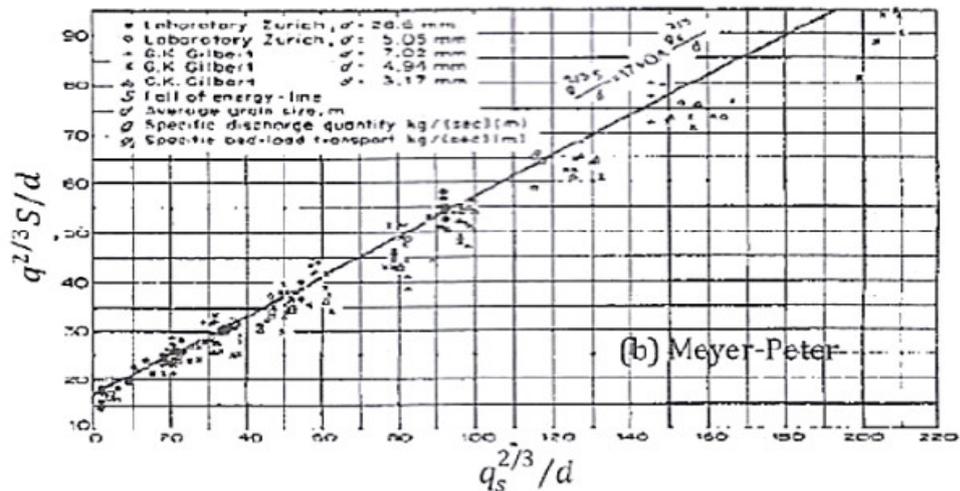
$S$  = kemiringan dasar sungai

$d$  = diameter butiran sedimen (m)

Bilangan konstan 17 dan 0,4 hanya valid untuk pasir dengan berat jenis 2,65 dan persamaan ini dapat pula dipakai pada sedimen yang berdiameter besar.



Dasar penggunaan rumus (17) dijelaskan melalui gambar berikut :



**Gambar 9.** Fungsi angkutan Meyer-Peter (Pallu, M.S.,2012)

#### 4) Pendekatan Schoklitsch

Schoklitsch adalah ilmuwan yang pertama kali menggunakan parameter debit (discharge) air untuk menentukan bed load. Metoda Schoklitsch menunjukkan transport massa sedimen yang terjadi tergantung kepada debit aliran air dan kecepatan arus yang terjadi. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa terdapat hubungan dimana semakin besar kecepatan aliran yang terjadi maka semakin besar pula transport sedimen yang terbawa. Ada dua formula rumus yang dibuat oleh Schoklitsch, rumus pertama dipublikasikan pada tahun 1934 dan tahun 1943. Tahun 1943 formula Schoklitsch dalam satuan metrik yaitu :

$$q_b = 7000 \frac{S^{3/2}}{d^{1/2}} (q - q_c) \quad (18)$$

dimana :

$q_b$  = debit bed load (kg/s)/m

$d$  = ukuran partikel (m)

$q$  dan  $q_c$  = debit air dan debit kritis pada saat mulai bergerak ( $m^3/s$ )/m

Debit air kritis pada persamaan (18) untuk sedimen dengan Spesifik Gravity = 2,65 dapat diketahui sbb :

$$q_c = \frac{0.00001944}{S^{4/3}} \quad (19)$$



Persamaan (19) ditentukan dengan plotting untuk aliran dan diameter butiran, sebuah lengkung angkutan dasar sebagai ordinat terhadap kemiringan sebagai absis. Pada tahun 1934 Schoklitsch membuat rumus dalam satuan metrik

$$q_b = 2500s^{3/2}(q - q_c) \quad (20)$$

Untuk sedimen dengan Spesifik Gravity = 2,65 debit kritis dalam persamaan (17) menjadi :

$$q_c = \frac{0.6^{3/2}}{s^{7/6}} \quad (21)$$

Dengan  $d$  = ukuran partikel sedimen (m)

Awal gerak butir sedimen sangat penting dalam kaitannya dengan studi tentang transpor sedimen, degradasi dasar sungai, desain saluran stabil dan lain. Butiran Partikel sedimen akan mulai bergerak pada saat tegangan kritis nya terlampaui. Ketika tegangan geser belum melampaui nilai tegangan kritis, maka material dasar tetap atau tak bergerak. Sangat sulit untuk mengukur gerakan partikel pada dasar saluran, hal tersebut disebabkan karena gerakan partikel sedimen merupakan fenomena yang acak dalam ruang dan waktu (Simons et al., 2004). Dalam desain saluran stabil, salah satu metode adalah kemiringan dan dimensi saluran dibuat sedemikian hingga aliran tidak menimbulkan erosi di dasar dan tebing saluran. Karena pergerakan butir sedimen sangat tidak teratur, maka sangat sulit untuk mendefinisikan dengan pasti sifat atau kondisi aliran yang menyebabkan butir sedimen mulai bergerak atau dalam kondisi kritis.

Beberapa pendekatan dalam mendefinisikan awal gerak butir sedimen (dikaitkan dengan kondisi aliran):

- a. sudah ada satu butir sedimen yang bergerak
- b. sejumlah butir sedimen sudah bergerak
- c. butir material dasar secara umum sudah bergerak

terjadi pergerakan butir sedimen dan awal gerak sedimen adalah situasi saat jumlah transport sedimen sama dengan nol.



Pendekatan a dan b sangat subyektif, bergantung pada orang yang mengamati pergerakan butir sedimen. Metode ke-3 kurang tepat didefinisikan sebagai awal gerak butir sedimen karena transpor sedimen sudah terjadi di sepanjang dasar saluran. Metode ke-4 barangkali yang dapat dikatakan paling objektif; hanya saja, dibutuhkan pengukuran kuantitas transport sedimen pada berbagai kondisi aliran yang berbeda untuk selanjutnya dilakukan interpolasi untuk memperoleh kondisi aliran saat kuantitas transpor sedimen sama dengan nol.

Pendekatan teoritis (lihat berbagai literatur tentang transpor sedimen) untuk menentukan awal gerak butir sedimen didasarkan pada pendekatan kecepatan, gaya angkat, dan konsep gaya seret (gesek). Namun mengingat bahwa kondisi alami dari pergerakan butir sedimen sangat tidak teratur (random), maka pendekatan dengan teori probabilitas juga sering digunakan.

a. Pendekatan kecepatan (competent velocity)

Ukuran butir material dasar sungai,  $d$ , dihubungkan dengan kecepatan di dekat dasar atau dengan kecepatan rerata yang menyebabkan pergerakan butir sedimen.

b. Pendekatan gaya angkat (lift force)

Diasumsikan bahwa pada saat gaya angkat ke atas akibat aliran (lift force) sedikit lebih besar daripada berat butir sedimen di dalam air, maka kondisi awal gerak butir sedimen telah dicapai.

c. Pendekatan tegangan geser kritis

Pendekatan ini didasarkan pada konsep bahwa gaya geser yang bekerja pada aliran dianggap paling berperan terhadap pergerakan butir sedimen.

Pendekatan dengan cara lain, diantaranya dengan teori probabilitas. Akibat adanya aliran air, timbul gaya-gaya aliran yang bekerja pada butir sedimen :

a. Gaya-gaya tersebut mempunyai kecenderungan untuk menggerakkan / menyeret butir sedimen.

b. Pada butir sedimen kasar (pasir dan batuan), gaya untuk melawan gaya-gaya aliran tersebut merupakan fungsi berat butir sedimen.

Pada butir sedimen halus yang mengandung fraksi lanau (*silt*) atau lempung (*clay*) yang cenderung bersifat kohesif, gaya untuk melawan



- d. Kohesi butir sedimen halus merupakan fenomena yang kompleks; pengaruh kohesi bervariasi dan bergantung kandungan mineral.

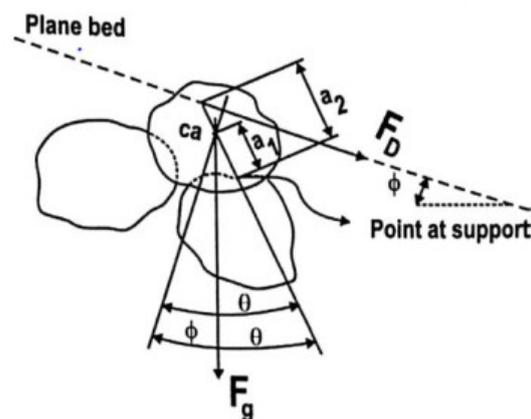
Dalam Tugas Akhir mengenai pergerakan sedimen ini, yang dibahas adalah **Sedimen Non kohesif**. Pada waktu gaya-gaya aliran (gaya hidrodinamik) yang bekerja pada butir sedimen mencapai suatu nilai tertentu, yaitu apabila gaya sedikit ditambah maka akan menyebabkan butir sedimen bergerak, maka kondisi ini dinamakan sebagai **kondisi kritis**.

Parameter aliran pada kondisi kritis (tegangan geser dasar,  $\tau_0$ , dan kecepatan aliran,  $U$ , mencapai nilai kritis awal gerak sedimen):

- Bila gaya-gaya aliran berada di bawah nilai kritisnya, maka butir sedimen tidak bergerak; dasar saluran dikatakan sebagai rigid bed.
- Bila gaya aliran melebihi nilai kritisnya, butir sedimen bergerak; dasar saluran dikatakan sebagai dasar bergerak (*movable bed, erodible bed*).

Gaya-gaya yang bekerja pada suatu butiran sedimen non-kohesif dalam aliran air:

- Gaya berat (*gravity force*)
- Gaya apung (*buoyancy force*)
- Gaya angkat (*hydrodynamic lift force*)
- Gaya seret (*hydrodynamic drag force*)



**Gambar 10.** Ilustrasi gaya-gaya yang bekerja pada butir sedimen



: gaya seret

: gaya berat di dalam air

: sudut kemiringan dasar

$\theta$  : sudut gesek (lonsor) alam (*angle of repose*)

a1 : jarak antara pusat berat (ca) sampai titik guling (*point of support*)

a2 : jarak antara pusat gaya seret (drag) sampai titik guling

Pada kondisi kritis, butir sedimen hampir bergerak mengguling terhadap titik guling (*point of support*).

a. Gaya berat (*gravity force*) di dalam air

$$F_G = C_1(\gamma_s - \gamma) d_s^3 \quad (22)$$

$C_1 d_s^3$  : volume butir sedimen

$d_s$  : diameter signifikan butir sedimen (biasanya ukuran ayakan)

$C_1$  : konstanta untuk konversi volume butir sedimen

b. Gaya seret (drag force)

$$F_d = C_1 \tau_c d_s^2 \quad (23)$$

$C_1 d_s^2$  : luas permukaan efektif butir sedimen yang mengalami tegangan geser kritis

$C_1 \tau_c$  : luas efektif adalah luas proyeksi butir pada bidang yang tegak lurus arah aliran

c. Pada saat dicapai kondisi kritis

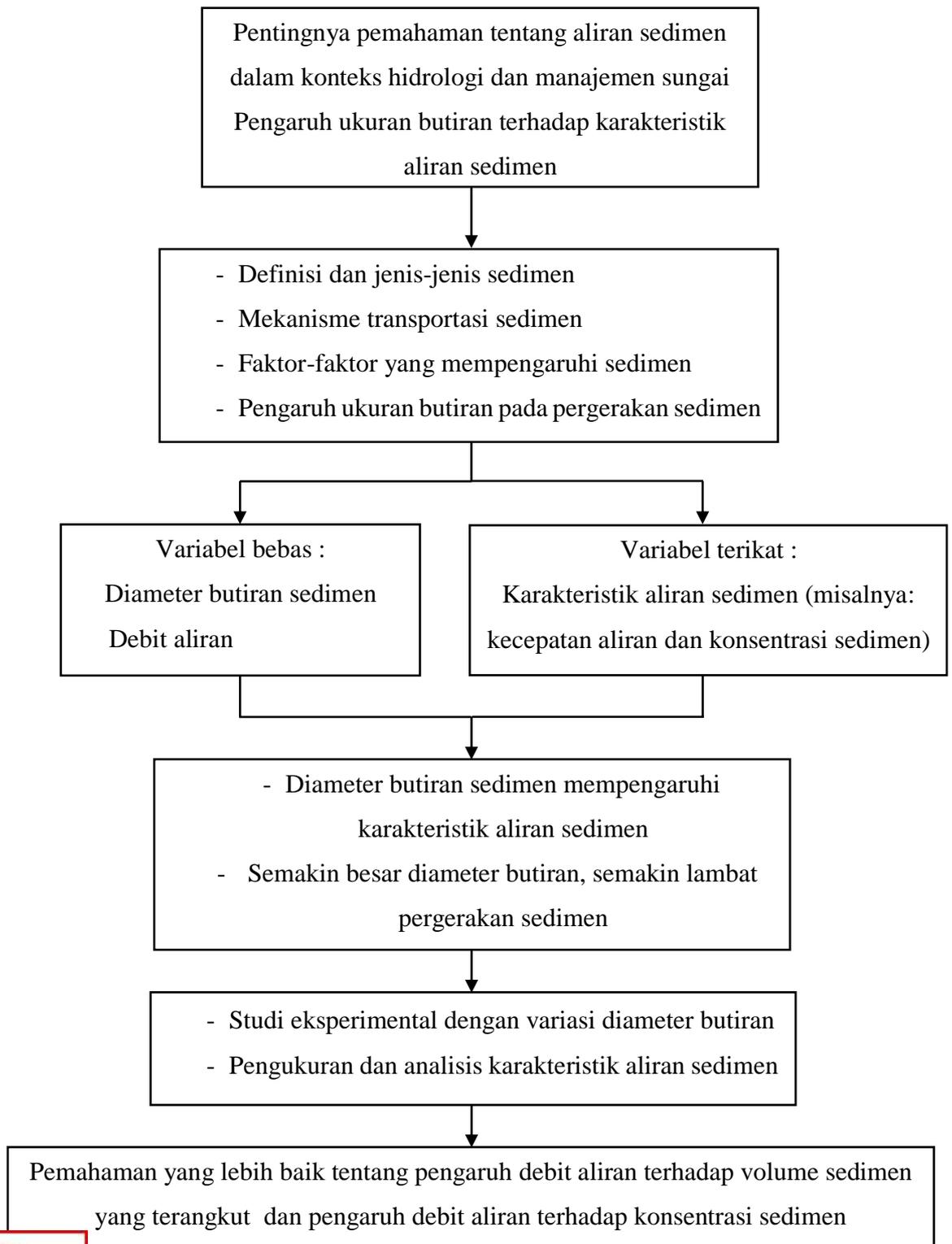
momen gaya berat butir = momen gaya seret

jarak  $\times F_G = F_D \times$  jarak

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) d_s} = \frac{\rho u_{*c}^2}{\gamma_s^l d_s} = f \left( \frac{u_{*c}^2 d_s}{\nu} \right) = f(Re_*) \quad (24)$$



## 2.7 Kerangka Pikir Penelitian



Gambar 11. Kerangka pikir penelitian

