

TUGAS AKHIR

**STUDI EKSPERIMENTAL TRANSPORT SEDIMEN VARIASI
KEMIRINGAN SALURAN TERBUKA**

***EXPERIMENTAL STUDY OF SEDIMENT TRANSPORT OF OPEN
CHANNEL SLOPE VARIATIONS***

Disusun dan diajukan oleh:

MUH RHIFKY SUPRIANTO

D011201130



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI EKSPERIMENTAL TRANSPORT SEDIMEN VARIASI KEMIRINGAN SALURAN TERBUKA

Disusun dan diajukan oleh

MUH RHIFKY SUPRIANTO
D011 20 1130

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



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Muh Rhifky Suprianto

NIM : D011201130

Program Studi : Teknik Sipil

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Studi Eksperimental Transport Sedimen Variasi Kemiringan Saluran Terbuka}

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, 14 Agustus 2024

(tangan
METERAI
TEMPEL
DE890AKX815328882
Muh Rhifky Suprianto



ABSTRAK

Muh Rhifky Suprianto. *Studi Eksperimental Transport Sedimen Variasi Kemiringan Saluran Terbuka* (dibimbing Prof. Dr. Ir Muhammad Saleh Pallu, M.Eng)

Transport sedimen adalah suatu proses perpindahan sedimen yang terjadi di sepanjang sungai, laut, waduk, maupun saluran terbuka lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi kemiringan saluran terhadap angkutan sedimen dasar yang dilakukan di laboratorium. Tujuan utama dari penelitian ini untuk memahami bagaimana perubahan kemiringan saluran mempengaruhi jumlah angkutan sedimen dasar. Eksperimen menggunakan satu set alat *transport sediment demonstration channel*. Sedimen dengan karakteristik tertentu ditempatkan di dalam saluran dan diberi aliran dengan kecepatan dan debit yang tetap. Kemiringan saluran divariasikan menjadi tiga tingkat, dan data tentang laju angkutan sedimen dasar dikumpulkan melalui metode pengukuran langsung. Hasil penelitian kemudian disandingkan dengan data yang dikumpulkan melalui beberapa persamaan empiris untuk divalidasi kebenarannya. Hasil penelitian dan hasil pendekatan menggunakan rumus empiris menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda dan menunjukkan bahwa laju angkutan sedimen dasar meningkat dengan peningkatannya kemiringan saluran. Semakin besar kemiringan maka semakin besar debit air dan debit sedimen yang dihasilkan. Semakin besar kemiringan juga mempengaruhi tegangan geser yang menjadi salah satu pengaruh mengapa sedimen bisa bergerak. Penelitian ini memberikan wawasan penting mengenai dinamika angkutan sedimen dasar yang dipengaruhi oleh kemiringan saluran. Penelitian ini relevan untuk pengelolaan dan perencanaan infrastruktur hidrolis, termasuk mitigasi erosi dan desain saluran yang efisien untuk mengendalikan transportasi sedimen.



Kata kunci: angkutan sedimen dasar, variasi kemiringan, transportasi sedimen, saluran terbuka

ABSTRACT

Muh Rhifky Suprianto. *Eksperimental Study of Sediment Transport of Open Channel Slope Variations* (supervised by Prof. Dr. Ir Muhammad Saleh Pallu, M.Eng)

Sediment transport is the process of sediment movement occurring along rivers, seas, reservoirs, and other open channels. This study aims to examine the effect of channel slope variation on bed load sediment transport conducted in a laboratory setting. The primary objective of this research is to understand how changes in channel slope influence the amount of bed load sediment transport. The experiment utilized a sediment transport demonstration channel apparatus. Sediment with specific characteristics was placed in the channel and subjected to a constant flow rate and discharge. The channel slope was varied at three levels, and data on the bed load sediment transport rate were collected through direct measurement methods. The research findings were then compared with data obtained through several empirical equations for validation. The results showed that the findings from the empirical formula approach were consistent and indicated that the bed load sediment transport rate increased with the slope. The greater the slope, the larger the water discharge and sediment discharge produced. Increased slope also affects shear stress, which is one of the reasons why sediment moves. This study provides important insights into the dynamics of bed load sediment transport influenced by channel slope. This research is relevant for hydraulic infrastructure management and planning, including erosion mitigation and efficient channel design to control sediment transport.

Keywords: bed load sediment transport, slope variation, artificial channel, laboratory experiment, sediment transport, hydraulics.



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
KATA PENGANTAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Penelitian terdahulu.....	4
2.2 Kerangka Pikir Penelitian	6
2.3 Transport sedimen.....	7
2.4 Konsep Dasar Aliran Pada Saluran Terbuka.....	7
2.5 Sedimentasi	11
2.6 Sumber Sedimen	14
2.7 Tekstur Sedimen	14
2.8 Angkutan Sedimen.....	17
2.8.1 Sedimen Dasar (<i>bed load</i>).....	17
2.8.2 Sedimen Melayang (<i>suspended load</i>).....	18
2.8.3 Wash Load	19
2.9 Konsep Dasar Pergerakan Sedimen dan Karakteristik Partikel Sedimen	19
2.9.1 Konsep Dasar Pergerakan Sedimen.....	19
2.9.2 Sifat Partikel Sedimen	20
2.9.3 Ukuran Partikel Sedimen	20
2.9.4 Bentuk Partikel Sedimen	23
2.9.5 Gravitasi jenis	24
2.9.6 Kecepatan Jatuh	24
2.10 Rumus pendekatan angkutan sedimen dasar	25
2.10.1 Pendekatan Duboys.....	25
2.10.2 Pendekatan Shields	26
2.10.3 Pendekatan Kalinske.....	27
2.10.4 Pendekatan Meyer - Peter.....	28
Pendekatan Schoklitsch	31
METODE PENELITIAN.....	32
Rencana Alir Penelitian	32
Durasi dan Waktu Penelitian.....	33
Metode Penelitian dan Sumber Data.....	33



3.4 Alat dan Bahan Pengujian.....	33
3.4 Prosedur Penelitian	35
3.4.1 Rancangan Penelitian.....	35
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Data Sedimen	37
4.2 Data Debit Aliran	38
4.3 Data Kedalaman Aliran (h)	38
4.4 Data bilangan Reynold dan Froude.....	39
4.4 Data debit sedimen.....	40
4.5 Data Tegangan Geser (τ) dan Tegangan Geser kritis (τ_c)	44
4.6 Kecepatan Geser (U^*).....	44
4.7 Data Menggunakan Persamaan Empiris	44
4.7.1 Persamaan <i>Schoklitsch</i>	44
4.7.1 Persamaan <i>Shields</i>	48
4.7 Perbandingan Data Percobaan dengan Data Menggunakan Persamaan Empiris	55
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	64
5.1 Kesimpulan	64
5.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA	66



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Kerangka pikir penelitian	6
Gambar 2. Skema aliran pada saluran terbuka (Chow, V.T., 1997).....	8
Gambar 3. Bagan alir proses terjadinya bencana sedimen (Hasnawir, 2012)	12
Gambar 4. Partikel terangkut dengan cara bed-load transport dan suspended load transport (Sumber: Fasdarsyah, 2016).....	13
Gambar 5. Klasifikasi transport sedimen	17
Gambar 6. Distribusi konsentrasi arah vertikal (setelah; Hayes, 1978).	19
Gambar 7. Kurva hubungan antara kecepatan pengendapan dengan diameter ukuran butiran, shape factor, angka Reynolds)	23
Gambar 8. Sketsa model bed load menurut DuBoys (Pallu, M. S., 2012).....	25
Gambar 9. Parameter sedimen dan gaya traksi kritis untuk persamaan bed-load DuBoys (Satuan metrik).....	26
Gambar 10. Diagram Shield untuk gerakan awal butiran)	27
Gambar 11. Persamaan bed load dari kalinske	28
Gambar 12. Fungsi angkutan Meyer-Peter (Pallu, M.S.,2012)	29
Gambar 13. Fungsi angkutan Meyer-Peter (Pallu, M.S.,2012)	30
Gambar 14. Bagan Alir Penelitian.....	32
Gambar 15. Lokasi penelitian.....	33
Gambar 16. <i>Sediment Transport Demonstration Channel</i>	34
Gambar 17. Ambang	34
Gambar 18. <i>Point Gauge</i>	34
Gambar 19. Flume dan posisi perletakan sedimen dalam saluran.....	35
Gambar 20. Grafik hubungan debit air (q_w) dan debit sedimen (q_s) pada Q_1	41
Gambar 21. Grafik Hubungan Kemiringan terhadap debit sedimen pada Q_1	41
Gambar 22. Grafik hubungan debit air (q_w) dan debit sedimen (q_s) pada debit Q_2	43
Gambar 23. Grafik Hubungan Kemiringan terhadap debit sedimen pada Q_2	43
Gambar 24. Grafik hubungan debit air (q_w) percobaan dan debit sedimen (q_s) pendekatan Schoklitsch pada debit Q_1	46
Gambar 25. Grafik hubungan debit air (q_w) percobaan dan debit sedimen (q_s) pendekatan Schoklitsch pada debit Q_2	46
Gambar 26. Grafik hubungan debit air kritis (q_c) persamaan Schoklitsch dan debit sedimen (q_s) percobaan pada debit Q_1	47
Gambar 27. Grafik hubungan debit air kritis (q_c) persamaan Schoklitsch dan debit sedimen (q_s) percobaan pada debit Q_1	48
Gambar 28. Grafik hubungan debit angkutan sedimen (q_s) persamaan Shields dan debit air (q_w) percobaan pada debit Q_1	50
Gambar 29. Grafik hubungan debit angkutan sedimen (q_s) persamaan Shields dan debit air (q_w) percobaan pada debit Q_2	50
Gambar 30. Grafik hubungan debit air, berat jenis air, dan kemiringan dengan debit angkutan sedimen, dan berat jenis sedimen pada Q_1	51
31. Grafik hubungan debit air, berat jenis air, dan kemiringan dengan debit angkutan sedimen, dan berat jenis sedimen pada Q_2	52
32. Grafik hubungan antara Tegangan geser- Tegangan geser kritis (persamaan) terhadap debit sedimen (percobaan) pada Q_1	53



Gambar 33. Grafik hubungan antara Tegangan geser- Tegangan geser kritis (persamaan) terhadap debit sedimen (percobaan) pada Q2	54
Gambar 34. Grafik hubungan antara Tegangan geser- Tegangan geser kritis (persamaan) terhadap debit sedimen (percobaan) pada Q1 dan Q2...	55
Gambar 35. Grafik hubungan antara debit air dan debit sedimen pada Q1 kemiringan 0.005.....	57
Gambar 36. Grafik hubungan antara debit air dan debit sedimen pada Q1 kemiringan 0.010.....	57
Gambar 37. Grafik hubungan antara debit air dan debit sedimen pada Q1 kemiringan 0.015.....	58
Gambar 38. Grafik hubungan antara debit air dan debit sedimen pada Q1.....	59
Gambar 39. Grafik hubungan antara debit air dan debit sedimen pada Q2 kemiringan 0.005.....	61
Gambar 40. Grafik hubungan antara debit air dan debit sedimen pada Q2 kemiringan 0.010.....	61
Gambar 41. Grafik hubungan antara debit air dan debit sedimen pada Q2 kemiringan 0.015.....	62
Gambar 42. Grafik hubungan antara debit air dan debit sedimen pada Q2.....	63



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi Ukuran Butir Menurut American Geophysical Union.....	15
Tabel 2. Karakteristik Sika Grout 215.....	16
Tabel 3. Tabel karakteristik kekuatan dan struktur (setelah; Hayes, 1959)	22
Tabel 4. Form Pengambilan Data.....	35
Tabel 5. Hasil Uji Berat Jenis Tanah di Laboratorium.....	37
Tabel 6. Debit Aliran.....	38
Tabel 7. Data Kedalaman Air.....	38
Tabel 8. Bilangan Reynold dan Froude pada debit pertama	39
Tabel 9. Bilangan Reynold dan Froude pada debit kedua.....	39
Tabel 10. Debit Sedimen.....	40
Tabel 11. Hubungan variasi kemiringan dan debit.....	42
Tabel 12. Data (τ) dan (τ_c).....	44
Tabel 13. Kecepatan geser (U^*)	44
Tabel 14. Persamaan <i>Schoklitsch</i>	45
Tabel 15. Persamaan <i>Shields</i>	49
Tabel 16. Perbandingan (Q1) Data Percobaan dan Rumus Empiris	56
Tabel 17. Perbandingan (Q2) Data Percobaan dan Rumus Empiris	60



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
Q	Debit (cm ³)
V	Volume air (cm ³ /detik)
V_s	Volume sedimen (cm ³ /detik)
A	Luas penampang (cm ²)
b	Lebar Saluran (cm)
h	Tinggi Saluran (cm)
Re	Bilangan Reynold
U	Kecepatan aliran
l	Panjang Karakteristik
ν	Nilai viskositas
Fr	Bilangan Froud
g	Gravitasi
C	Konsentrasi
SG	Massa jenis
γ	Berat Jenis air
γ_s	Berat jenis Sedimen
D	Kedalaman
S	Kemiringan
qb	Debit angkutan sedimen persatuan lebar
qw	Debit air persatuan lebar
qc	Debit air kritis
τ_0	Tegangan Geser
τ_c	Tegangan Geser kritis
d	Diameter Sedimen
R	Jari-Jari Hidraulis
U^*	Kecepatan Geser
	Kehilangan Energi



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi.....	67
-----------------------------	----



KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa, atas segala kebaikan dan karunia-Nya kepada setiap insan intelektual, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tak lupa sholawat serta salam kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW sebaik-baiknya suri tauladan. Penyusunan tugas akhir yang berjudul **“STUDI EKSPERIMENTAL TRANSPORT SEDIMEN VARIASI KEMIRINGAN SALURAN TERBUKA”** merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak hanya dari penulis sendiri melainkan berkat ilmu, arahan, bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih 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. Muhammad Saleh Pallu, M.Eng.**, selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan serta kesabarannya dalam menghadapi kualitas keilmuan penulis dari awal penelitian hingga selesainya tugas akhir ini. Semoga kebaikan, kesehatan serta kemudahan senantiasa dilimpahkan kepada beliau.
4. **Bapak Dr. Ir. Riswal K, S.T., M.T.,IPM**, selaku Kepala Laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. 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 persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua dan adik saya yang tercinta, yaitu ayahanda **Rudi Suprianto** dan ibunda **Haliati** serta **Muh Riffat Suprianto** atas semua kasih sayang yang begitu tulus dan doa yang tiada henti serta nasehat-nasehat yang selalu melekat pada penulis disetiap waktu.
2. **Salsabila Azizah Az Zahra** sebagai sosok yang menemani penulis dari masih mahasiswa baru sampai dititik ini dengan segala support dan dinamikanya selama masa perkuliahan, dan insyaAllah akan menjadi pendamping hidup yang selalu memberikan banyak warna dalam hidup penulis.
3. **Eki, Cips, Thoha, Farhan, Oji, Edo, Reyhan, Ilham, Adam, Nurmansyar, Fadil, dan Mufli** selaku sahabat serta partner kepengurusan HMS periode 2022/2023, yang memberi kenangan dan warna selama masa kepengurusan dan masa perkuliahan.
4. **Baco dan Rapal** sebagai ketua angkatan dan koordinator trainer angkatan 2020. Terima kasih untuk semua pengalaman baru yang menyenangkan yang diberikan selama penulis berkuliah di Teknik sipil.
5. **Pak Ahmad** yang selalu memberikan banyak ilmu dan pengetahuan baru, serta senantiasa memberikan dorongan kepada penulis untuk terus meningkatkan kualitas yang dimiliki penulis.
6. **Arya Kiano** yang menjadi teman penelitian dan perjuangan penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
7. Teman-teman di Baruga **Tasim, Farhan A, Dimas, Zaenal, dan Kholis** yang senantiasa membantu dan memfasilitasi penulis dalam Menyusun skripsi ini.
8. Teman-teman Trema Kopi **Najassi, Rey, Amar, Emir, Arya, Thoriq, Nuzul, Nabil, dan Apip** yang senantiasa banyak membantu penulis semasa perkuliahan.
9. **Rhafi, Zidan, Ocang, Acab, Dino, Cilam, dan Ijal** sebagai teman semasa sekolah sampai sekarang yang selalu memberi dukungan pada penulis.



an-teman **LDK 36** Sma negeri 5 makassar yang senantiasa memberikan ngan pada penulis semasa perkuliahan.

11. Teman-teman KKNT Desa Wisata 2 Bantaeng Posko 1 Bontolojong, terimakasih atas jalan-jalan dan pengalamannya.
12. Saudara-saudariku 10 April **ENTITAS 2021**, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **Angkatan 20** yang memberikan begitu banyak warna dan pengalaman yang sangat berharga dari awal hingga akhir . Semua cerita dalam setiap hidup tak akan selamanya indah dan tak akan selamanya buruk, coba selalu hadapi. *Keep On Fighting Till The End.*

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhirnya semoga Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan kebaikan dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, Juli 2024

Muh Rhifky Suprianto



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Angkutan sedimen yang terjadi merupakan suatu proses yang terjadi secara berkelanjutan. Perubahan kecepatan aliran sungai yang dipengaruhi oleh curah hujan yang tidak merata sepanjang tahun merupakan salah satu faktor penting dalam proses pergerakan sedimen di sungai-sungai Indonesia. Perubahan ini dapat menyebabkan berbagai dampak pada lingkungan sungai dan daerah sekitarnya. Saluran terbuka selain menjadi media untuk mengalirkan air, juga menjadi tempat terjadinya transport sedimen.

Transpor sedimen terjadi karena gaya hidrodinamik aliran air, material yang ada pada dasar sungai bergerak karena gaya-gaya yang ada pada material dasar sungai tidak mampu menahan gaya dorong pada aliran air yang terjadi pada saluran terbuka, dan dibedakan menjadi angkutan sedimen dasar (*bed load*), angkutan sedimen layang (*suspended load*), dan angkutan sedimen bilas (*wash load*). Kedua sedimen ini (sedimen dasar dan sedimen layang) ketika dilakukan pengukuran dan dijumlahkan, hasilnya mungkin tidak selalu sama dengan debit sedimen total sedangkan untuk *washload* sering kali tidak diperhitungkan ketika melakukan pengukuran

Angkutan sedimen yang sering terjadi dan kita jumpai dalam sungai, baik yang terlarut atau yang tidak terlarut, merupakan produk dari pelapukan batuan induk yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan, terutama oleh faktor perubahan musim yang sangat mencolok pada daerah tropis. Indonesia merupakan suatu negara yang terdiri dari Kawasan perbukitan yang banyak dialiri sungai dari daerah hulu yang berada di daerah perbukitan menuju daerah hilir yang berada di daerah dataran rendah dengan beberapa variasi kemiringan yang mengakibatkan terjadinya perpindahan sedimen dari. Pergerakan sedimen terjadi di sepanjang sungai mulai dari bagian hilir sampai ke hulu.



ika curah hujan tinggi terjadi, aliran sungai cenderung meningkat secara
 1. Hal ini dapat mengakibatkan erosi yang lebih besar pada tanah di
 3. tepian sungai, serta mengangkut lebih banyak sedimen ke sungai.

Sedimen ini kemudian dapat menumpuk di dasar sungai atau tersebar di sepanjang aliran sungai, tergantung pada kecepatan aliran dan topografi sungai itu sendiri. Kombinasi antara erosi dan sedimentasi ini dapat mengubah karakteristik fisik sungai seiring waktu. Lembah-lembah sungai dapat menjadi lebih dalam atau lebih dangkal, bentuk sungai dapat berubah, dan ekosistem sungai serta daerah sekitarnya dapat terpengaruh. Akibatnya sungai atau saluran tidak dapat memaksimalkan fungsinya sehingga dapat menyebabkan banjir. Transport sedimen di tiap tiap kemiringan saluran dengan beberapa parameter-parameter hidrolis diharapkan dapat menjadi acuan untuk menganalisis, memperkirakan, dan meminimalisir permasalahan yang timbul khususnya karena transport Sedimen

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka penulis melakukan penelitian lebih dalam mengenai transport sedimen dengan judul “ **STUDI EKSPERIMENTAL TRANSPORT SEDIMEN VARIASI KEMIRINGAN SALURAN TERBUKA**”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh debit terhadap angkutan sedimen?
2. Bagaimana pengaruh kemiringan saluran terhadap angkutan sedimen?
3. Bagaimana perbandingan data hasil eksperimen dengan data perhitungan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh debit terhadap angkutan sedimen.
2. Menganalisis pengaruh kemiringan saluran terhadap debit sedimen
3. Menganalisis data hasil eksperimen dengan data perhitungan

1.4 Manfaat Penelitian



Manfaat penelitian ini adalah diharapkan dapat memberikan referensi terkait studi yang berkaitan dengan transport sedimen dan secara teoritis, manfaat ini untuk meningkatkan pemahaman tentang transport sedimen variasi an.

1.5 Ruang Lingkup

Agar penelitian berjalan dengan baik dan terarah, serta untuk mempermudah pembahasan maka penulis memberikan batasan masalah dalam melaksanakan penelitian, sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Penelitian ini untuk menganalisis besaran transport sedimen menggunakan saluran terbuka *Sediment Transport Demonstration Channel* , data percobaan dari hasil penelitian di Laboratorium menggunakan sedimen berdiameter 0.6 dan 0.15 dengan kemiringan 0.005, 0.010, dan 0.015 (kemiringan dengan klasifikasi datar)



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Muh Adnan, dkk (2018), yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggelontoran sedimentasi dengan sistem flushing conduit jika menggunakan pipa dengan kemiringan yang bervariasi. Karakteristik sedimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir sedang berdasarkan skala wentworth dari hasil analisa saringan. Dari hasil penelitian menunjukkan jumlah sedimen yang tergelontor untuk Q1 yaitu pada kemiringan pipa (I) 3° jumlah volume gelontor (vg) 0,0043 m³, kemiringan pipa (I) 6° jumlah Volume tergelontor (vg) 0,0048 m³ dan pada kemiringan pipa (I) 9° jumlah volume gelontor (vg) yaitu 0,0055 m³. Kinerja Flushing Conduit menunjukkan semakin miring pipa Flushing Conduit (I) volume gelontor (vg) cenderung meningkat akibat bertambahnya kecepatan aliran dalam pipa. Mekanisme kerja flushing conduit terbagi atas tiga tahapan yaitu memberikan tekanan sehingga terjadi fluidasi, proses penghisapan endapan sedimen masuk kedalam pipa akibat fluktuasi debit dan tekanan, serta transportasi sedimen dalam pipa.

Penelitian yang dilakukan oleh Hasbullah Anas (2013) mencakup aspek eksperimental terkait angkutan sedimen, yang dimana penelitian ini dilakukan dengan menciptakan aliran untuk dimanfaatkan pada proses pengangkutan sedimen (bed load transport) dan (suspended load transport). Kemudian dilanjutkan dengan menganalisa perbandingan antaran besar aliran (dedimen dasar (bed load) dan total angkutan sedimen layag (suspended load). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa presentase debit sedimen yang keluar pada downtrea saluran semakin besar berbanding lurus dengan besar aliran yang dikeluarkan padaupstream. Perhitungan debit sedimen dasar dengan pendekatan empat parameter, menunjukkan nilai bed load (qb) yang paling mendekati hasil penelitian adalah parameter shield sedangkan untuk perhitungan debit sedimen layng (suspended load) yang juga menggunakan

parameter pendekatan, yang paling mendekati hasil penelitian adalah r chang, simons dan Ricardson, hal ini dikarenakan adanya beberapa



faktor dan variabel yang mendekati kondisi seandainya seperti variabel berat jenis air, berat jenis sedimen, kedalaman saluran konsentrasi sedimen, diameter sedimen.

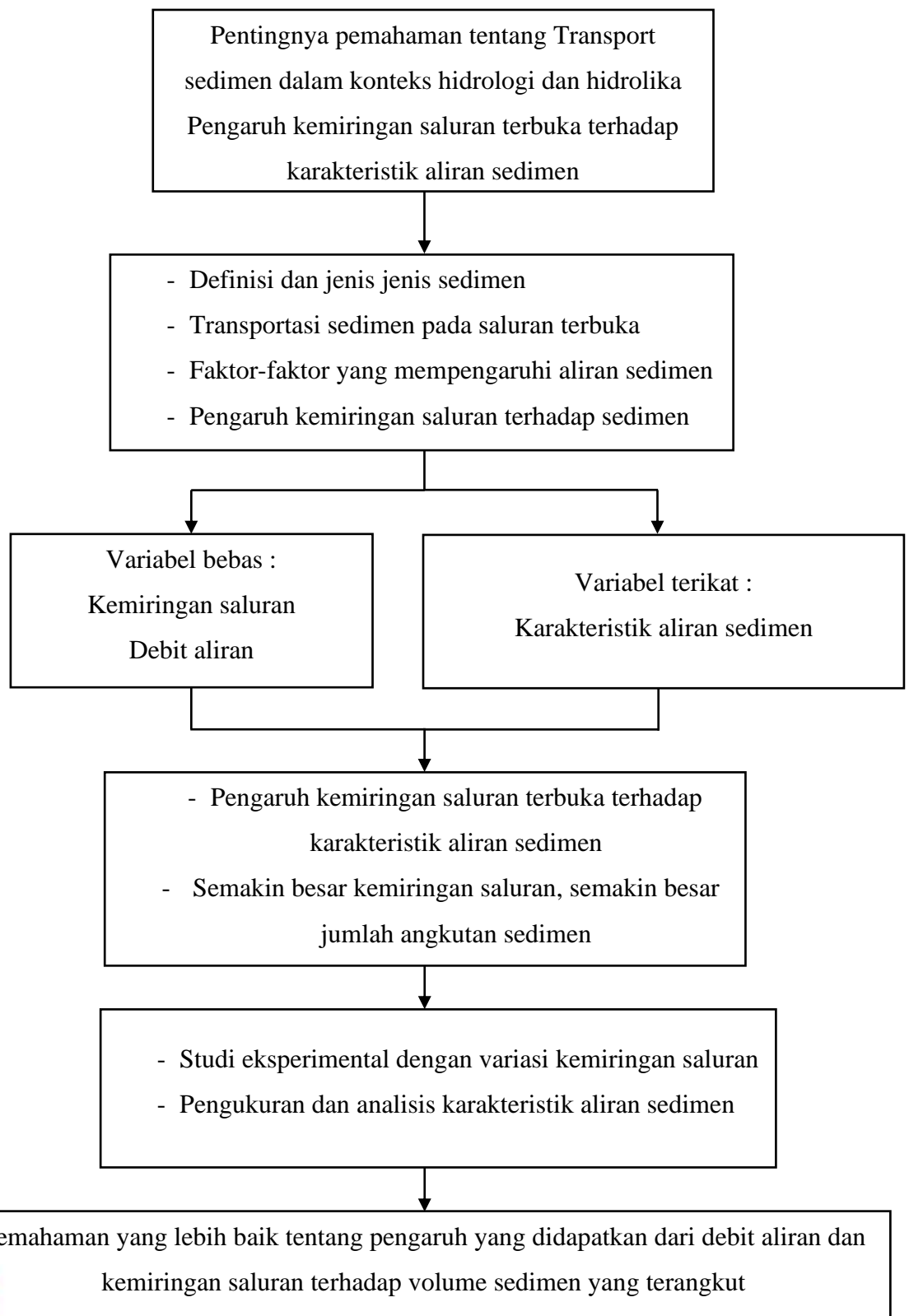
Penelitian yang dilakukan oleh Riswandy Loly Paseru dkk, (2022), terkait besarnya transport sedimen yang terjadi di sungai harapan yang mengakibatkan alinyemen alur sungai berubah dari tahun ke tahun. Penelitian bertujuan mengetahui besarnya laju angkutan sedimen pada kondisi banjir rancang periode ulang. Analisa hidrologi untuk mengetahui debit sungai menggunakan metode hidrograf satuan sintesis Nakayasu berupa transformasi dari hujan rancang menjadi debit banjir rancang. Adapun analisis angkutan sedimen dilakukan dengan persamaan Einstein dan persamaan Meyer-Peter. Hasil analisis menunjukkan besar debit banjir rancang periode ulang 2 hingga 100 tahun pada sungai Harapan berkisar antara 55,535 m³/s hingga 126,202 m³/s. Adapun laju angkutan sedimen metode Einstein untuk debit banjir periode ulang 2 hingga 100 tahun berkisar antara 11182,724 ton/tahun hingga 18696,496 ton/tahun. Sedangkan laju angkutan sedimen yang dihitung dengan metode Meyer-Peter untuk debit banjir rancang periode ulang 2 hingga 100 tahun berkisar antara 4814,128 ton/tahun hingga 8916,966 ton/tahun.

Penelitian yang dilakukan oleh Lalu M. Irwan Wahyudi, dkk, (2017), terkait analisis bagaimana pola gerusan dasar yang terjadi pada hilir bendung dengan melakukan penelitian model eksperimental serta beberapa hubungannya dengan beberapa variasi debit dan kemiringan, sungai secara umum memiliki karakteristik sifat yaitu perubahan morfologi pada bentuk tampang aliran baik karena faktor alam maupun faktor perlakuan manusia seperti pembuatan bangunan air seperti bendung. perbedaan elevasi muka air pada bendung akan menimbulkan terjunan yang mengakibatkan terjadinya gerusan pada dasar saluran terutama bagian hilir saluran model saluran dalam penelitian ini menggunakan saluran buatan berbentuk persegi dengan model bendung. Simulasi pengaliran pada saluran dilakukan sebanyak 12 kali dengan 3 variasi debit dan 4 variasi kemiringan dasar. Selain itu dilakukan juga pengujian gradasi dan erosi jenis sedimen yang disertai analisis volume angkutan sedimen, digunakan tiga rumus yaitu M.P.M, Einstein, Shinora Tsubaki. Hasil dari

ini menghasilkan bahwa besarnya debit dan kemiringan dasar berbanding terbalik terhadap volume sedimen yang terangkut, dimana semakin besar debit dan kemiringan maka volume sedimen yang terangkut semakin besar pula.



2.2 Kerangka Pikir Penelitian



Gambar 1. Kerangka pikir penelitian



2.3 Transport sedimen

Transport sedimen atau transportasi sedimen merupakan proses Bergeraknya suatu sedimen yang menjadi suatu fenomena alam yang terjadi di saluran terbuka, sungai, waduk, maupun laut. Didalam konsentrasi kemampuan dasar di bidang keairan, transportasi sedimen merupakan hal yang penting. Transport sedimen juga berhubungan dengan aliran air dan aliran partikel sedimen. Transportasi sedimen terjadi karena adanya gaya eksternal seperti gravitasi, arus air, gerakan angin, atau aliran es yang mempengaruhi partikel sedimen. Beberapa faktor utama yang mempengaruhi proses transportasi sedimen meliputi:

- **Karakteristik Sedimen:** Ukuran, bentuk, berat jenis, dan sifat-sifat lain dari sedimen mempengaruhi kemampuan mereka untuk diangkut oleh berbagai gaya eksternal.
- **Gaya Eksternal:** Gravitasi, kecepatan aliran air, kekuatan angin, dan perubahan suhu adalah beberapa gaya eksternal yang signifikan dalam menggerakkan sedimen.
- **Topografi dan Geomorfologi:** Bentuk dan kemiringan dari lahan atau perairan mempengaruhi kecepatan dan arah transportasi sedimen.

2.4 Konsep Dasar Aliran Pada Saluran Terbuka

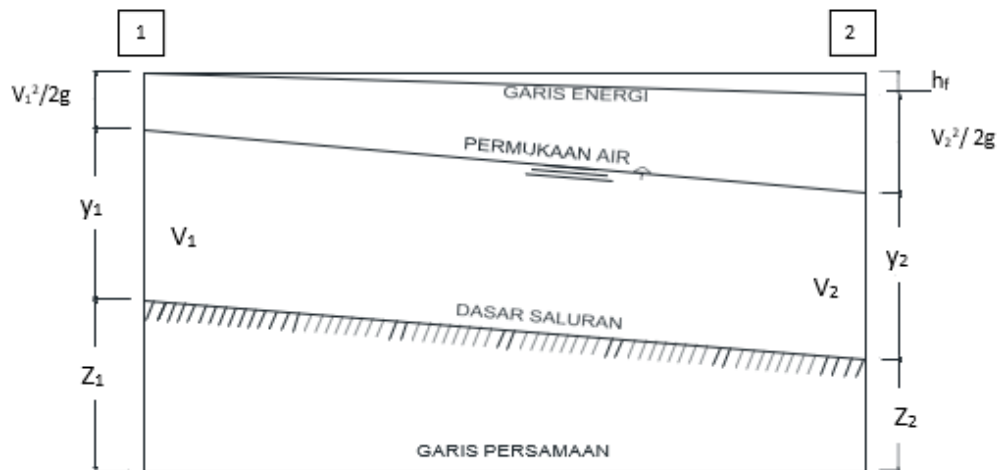
Secara prinsip aliran pada saluran terbuka merupakan aliran yang memiliki permukaan bebas (*free surface*), dan cenderung berubah ubah sesuai kondisi, hal tersebut yang menyebabkan kesulitan dalam memperoleh data yang akurat mengenai aliran pada saluran terbuka dapat dibedakan menurut asalnya menjadi dua macam saluran yaitu saluran alam, dan saluran buatan. 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. Berdasarkan kedalaman, aliran dapat dibedakan menjadi aliran seragam dan tidak

Aliran seragam memiliki kedalaman konstan sepanjang saluran, a aliran tidak seragam dapat dibedakan menjadi aliran bergradasi.



Sedangkan berdasarkan waktu, aliran dapat dibedakan menjadi kondisi aliran tidak berubah seiring waktu, dan aliran dimana kondisi aliran berubah seiring waktu.

Secara skematis, proses pengaliran yang terjadi pada saluran terbuka dapat diamati pada gambar 2.1 seperti berikut :



Gambar 2. Skema aliran pada saluran terbuka (Chow, V.T., 1997)

Pada gambar 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 $V^2/2g$ dengan V adalah kecepatan rata-rata aliran, Energi ini dinyatakan dalam gambar 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 dalam h_f .

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



.A

(1)

t (cm³/dtk)

V = Kecepatan rata-rata (cm/dtk)

A = Luas penampang saluran (cm²)

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

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

Dengan :

A = Luas penampang saluran (cm²)

b = Lebar saluran (cm)

h = Tinggi saluran (cm)

Untuk menghitung kecepatan rata-rata rumus yang digunakan yaitu :

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

Tipe aliran dapat dibedakan menggunakan bilangan Reynolds. Menurut

Reynolds tipe aliran dibedakan sebagai berikut :

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

Persamaan untuk menghitung bilangan Reynolds yaitu :

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

Dimana :

Re = bilangan Reynolds



U = Kecepatan aliran (m/dtk)

I = Panjang karakteristik (m)

ν = Viskositas kinematik (m²/dtk)

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:

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{g \cdot h}} \quad (5)$$

Dimana :

Fr = bilangan Froude

U = kecepatan aliran (m/dtk)

g = percepatan gravitasi (m/dtk²)

h = kedalaman aliran (m)

Nilai U diperoleh dengan rumus:

$$U = \frac{Q}{A} \quad (6)$$

Dimana :

Q = debit aliran (m³/dtk)

A = luas saluran (m²)

Nilai A diperoleh dengan rumus :

$$A = \frac{1}{2}(b+d)h \quad (7)$$

Dimana :

h = tinggi aliran (m)

b = lebar saluran (m)

d = lebar saluran (m)



2.5 Sedimentasi

Menurut Anwas, (1994) Sedimentasi adalah peristiwa pengendapan batuan yang telah diangkut oleh tenaga air atau angin. Pada saat pengikisan terjadi, air membawa batuan mengalir ke sungai, danau, dan akhirnya sampai ke laut. Pada saat kekuatan pengangkutannya berkurang atau habis, batuan diendapkan di daerah aliran air. Karena itu pengendapan ini bisa terjadi di sungai, danau dan laut. Batuan hasil pelapukan secara berangsur diangkut ke tempat lain oleh tenaga air, angin, dan gletser (es yang mengalir secara lambat). Air mengalir di permukaan tanah atau sungai membawa batuan halus baik terapung, melayang atau digeser di dasar sungai menuju tempat yang lebih rendah. Hembusan angin juga dapat mengangkut debu, pasir, bahkan bahan material yang lebih besar. Makin kuat hembusan itu, maka besar pula daya angkutnya. Di padang pasir misalnya, timbunan pasir yang luas dapat dihembuskan angin dan berpindah ke tempat lain. Sedangkan gletser, walaupun lambat gerakannya, tetapi memiliki daya angkut besar.

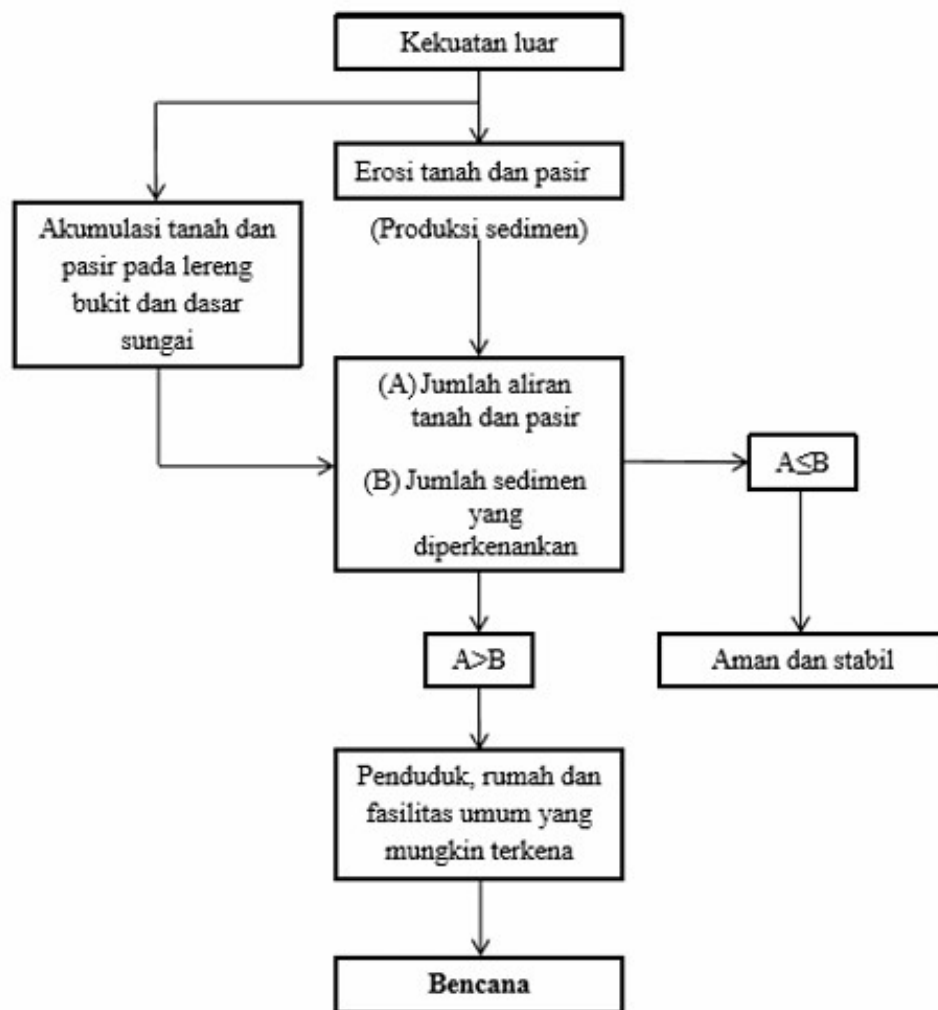
Menurut Soewarno (1991), proses sedimentasi meliputi proses erosi, transportasi (angkutan), pengendapan (deposition) dan pemadatan (compaction) dari sedimentasi itu sendiri. Proses tersebut berjalan sangat kompleks, dimulai dari jatuhnya hujan yang menghasilkan energi kinetik yang merupakan permulaan dari proses erosi. Begitu tanah menjadi partikel halus, lalu menggelinding bersama aliran, sebagian akan tertinggal di atas tanah sedangkan bagian lainnya masuk ke sungai terbawa aliran menjadi angkutan sedimen.

Sedimen yang terbawa hanyut oleh aliran air terdiri dari dua muatan yaitu berupa muatan dasar (bed load) maupun muatan melayang (suspended load). Muatan dasar yaitu berupa material yang bergerak dalam aliran sungai dengan cara bergulir, meluncur, dan meloncat-loncat di atas permukaan dasar sungai. Sedangkan muatan melayang yaitu butiran-butiran halus yang ukurannya lebih kecil yang senantiasa melayang di dalam air (Suyono & Tominaga, 1985).

Sedimen adalah pecahan-pecahan material yang umumnya terdiri atas uraian batu-batuan secara fisis dan secara kimia. Partikel seperti ini mempunyai ukuran besar (boulder) sampai yang sangat halus (koloid), dan beragam bentuk, lonjong sampai persegi. Hasil sedimen biasanya diperoleh dari angkutan sedimen terlarut dalam sungai (suspended sediment), dengan kata lain



bahwa sedimen merupakan pecahan, mineral, atau material organik yang diangkut dari berbagai sumber dan diendapkan oleh media udara, angin, es, atau oleh air dan juga termasuk didalamnya material yang diendapkan dari material yang melayang dalam air atau dalam bentuk larutan kimia (Usman, 2014).



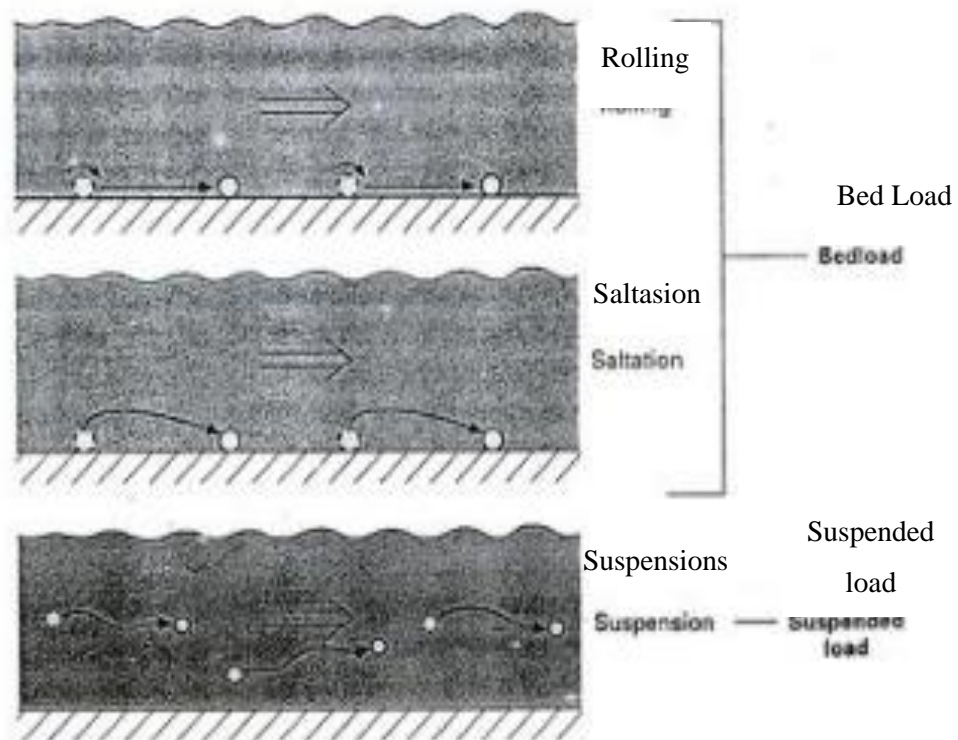
Gambar 3. Bagan alir proses terjadinya bencana sedimen (Hasnawir, 2012)

Pada saluran aliran air terjadi pengikisan sehingga air membawa batuan mengalir ke sungai, danau, dan akhirnya sampai di laut. Pada saat kekuatan pengangkutannya berkurang atau habis, batuan diendapkan di daerah aliran air.



Contoh suatu hembusan angin bisa mengangkat debu, pasir, bahkan bahan yang lebih besar. Makin kuat hembusan angin, makin besar pula daya angkutnya (Hambali dan Yayuk, 2016). Pada umumnya partikel yang terangkut

dengan cara bergulung, bergeser, dan melompat disebut angkutan muatan dasar (bed-load transport) dan jika partikel terangkut dengan cara melayang disebut angkutan muatan layang suspensi (suspended load transport).



Gambar 4. Partikel terangkut dengan cara bed-load transport dan suspended load transport (Sumber: Fasdarsyah, 2016)

Sedimentasi adalah terbawanya material dari hasil pengikisan dan pelapukan oleh air, angin atau gletser ke suatu wilayah yang kemudian di endapkan. Semua batuan dari hasil pelapukan dan pengikisan yang di endapkan lama-kelamaan akan menjadi batuan sedimen. Hasil proses sedimentasi di suatu tempat di tempat lain akan berbeda. Adapun proses sedimentasi itu sendiri dalam konteks hubungan dengan sungai meliputi, penyempitan palung, erosi, transportasi sedimentasi (transport sediment), pengendapan (deposition), dan pemadatan (compaction) dari sedimen itu sendiri. Karena prosesnya merupakan gejala sangat yang merupakan permulaan proses terjadinya erosi tanah menjadi partikel u menggelinding bersama aliran, sebagian akan tertinggal di atas tanah,



sedangkan bagian lainnya masuk ke dalam sungai terbawa aliran menjadi sedimen (Pangestu dan Haki, 2013).

2.6 Sumber Sedimen

Menurut asalnya sedimen dibagi menjadi 4 (empat) macam yaitu;

1. Sedimen lithogenous ialah sedimen yang berasal dari sisa pelapukan (weathering) batuan dari daratan, lempeng kontinen termasuk yang berasal dari kegiatan vulkanik.
2. Sedimen biogenous ialah sedimen yang berasal dari organisme laut yang telah mati dan terdiri dari remah-remah tulang, gigi geligi dan cangkang-cangkang tanaman maupun hewan mikro.
3. Sedimen hydrogenous yakni sedimen yang berasal dari komponen kimia air laut dengan konsentrasi yang kelewat jenuh sehingga terjadi pengendapan (deposisi) didasar laut contohnya mangan (Mn) berbentuk nodul, fosforite (P_2O_5), dan glauconite (hidro silikat yang berwarna kehijauan dengan komposisi yang terdiri dari ion-ion K, Mg, Fe dan Si).
4. Sedimen cosmogenous sedimen yang berasal dari luar angkasa di mana partikel dari benda-benda angkasa ditemukan di dasar laut dan banyak mengandung unsur besi sehingga mempunyai respons magnetik dan berukuran antara 10 640 μ (Munandar dkk, 2014).

2.7 Tekstur Sedimen

Tekstur adalah kenampakan sedimen yang berkaitan dengan ukuran, bentuk, dan susunan butir sedimen. Suatu endapan sedimen disusun dari berbagai ukuran partikel sedimen yang berasal dari sumber yang berbeda-beda, dan percampuran ukuran ini disebut dengan istilah populasi. Ada tiga kelompok populasi sedimen yaitu:

1. kerikil (gravel), terdiri dari partikel individual: boulder, cobble dan pebble.
2. pasir (sand), terdiri dari: pasir sangat kasar, kasar, sedang, halus dan sangat halus.
3. lumpur (mud), terdiri dari clay dan silt.



Ukuran butir partikel sedimen adalah salah satu faktor yang mengontrol proses pengendapan sedimen di sungai, semakin kecil ukuran butir semakin lama partikel tersebut dalam air dan semakin jauh diendapkan dari sumbernya, begitu juga sebaliknya.

Beberapa ahli hidraulika menggunakan klasifikasi ukuran butiran menurut AGU (American Geophysical Union) sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini :

Tabel 1. Klasifikasi Ukuran Butir Menurut American Geophysical Union

Interval/range (mm)	Nama	Interval/range (mm)	Nama
4096 - 2048	Batu sangat besar (<i>Very large boulders</i>)	1/2 - 1/4	Pasir sedang (<i>Medium sand</i>)
2048 - 1024	Batu besar (<i>Medium 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	Kerikil Besar (<i>Large cobbles</i>)	1/32 - 1/64	Lumpur sedang (<i>Medium silt</i>)
128 - 64	Kerikil 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>)		



Junaidi dan Restu, 2011)

dasarakan Skala Wentworth sedimen dapat dikelompokkan berdasarkan utirnya, yakni lempung, lanau, pasir, kerikil, koral (pebble), cobble, dan

batu (boulder). Skala tersebut menunjukkan ukuran standar kelas sedimen dari fraksi berukuran mikron sampai beberapa mm dengan spektrum yang bersifat kontinu. Krumbein (1934) dalam Dyer (1986) mengembangkan Skala Wentworth dengan menggunakan unit phi (ϕ). Tujuannya untuk mempermudah pengklasifikasian apabila suatu sampel sedimen mengandung partikel yang berukuran kecil dalam jumlah yang besar. Distribusi ukuran butir dianalisis dengan saringan dan direpresentasikan dalam bentuk kurva presentasi berat kumulatif. Untuk mengukur derajat penyebaran ukuran butiran terhadap nilai rerata sering digunakan Koefisien S_0 yang didefinisikan sebagai rumus berikut ini :

$$S_0 = \sqrt{\frac{D_{75}}{D_{25}}} \quad (8)$$

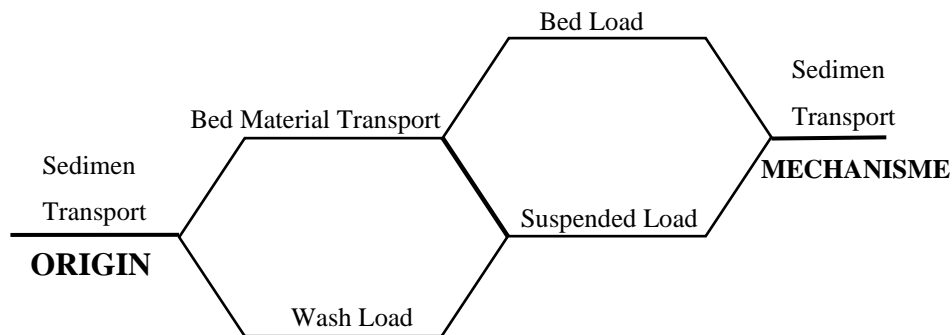
Dengan D_p merupakan ukuran dimana p % dari berat sampel lebih halus dari diameter butir tersebut. Apabila $1,0 \leq S_0 \leq 1,5$ ukuran butir pasir seragam, untuk $1,5 \leq S_0 \leq 2,0$ penyebaran ukuran pasir sedang, sementara untuk $2,0 \leq S_0$ berarti gradasi ukuran pasir bervariasi (Triatmodjo, 1999).

Tabel 2. Karakteristik Sika Grout 215

Klarifikasi	Diameter Partikel		
	mm	Satuan phi	
Batu	256	-8	
Cobble	128	-7	
Koral (Pebble)	Besar	64	-6
	Sedang	32	-5
	Kecil	16	-4
	Sangat Kecil	8	-3
Kerikil		4	-2
	Sangat Besar	2	-1
	Kasar	1	0
	Sedang	0.5	1
	Halus	0.25	2
Pasir	Sangat Halus	0.125	3
	Kasar	0.063	4
	Sedang	0.031	5
	Halus	0.015	6
Lumpur	Sangat Halus	0.0075	7
	Kasar	0.0037	8
	Sedang	0.0018	10
Lempung	Halus	0.0009	11
	Sangat Halus	0.0003	12



Ukuran partikel ini menunjukkan proses pengangkutan dan pengendapan material yang ada, contohnya kemampuan dari air atau angin memindahkan partikel. Ukuran partikel sangat penting dalam menentukan tingkat pengangkutan sedimen ukuran tertentu dan tempat sedimen tersebut terakumulasi di laut (Wahyuni, 2014).



Gambar 5. Klasifikasi transport sedimen

Transport material dasar adalah transport (pergerakan) material yang ditemukan di dasar sungai. Wash load: sedimen yang tidak ditemukan di dasar sungai karena secara permanen tersuspensi. Bed load: sedimen yang secara kontinu berada di dasar sungai, terangkut secara menggelinding, menggeser, melompat. Suspended load: Sedimen yang tersuspensi oleh turbulensi aliran dan tidak berada di dasar sungai Berdasarkan mekanisme transportnya sedimen suspensi terbagi menjadi dua yaitu wash load dan bed material transport. Wash load adalah material yang lebih halus dibandingkan material dasar saluran. Biasanya ukuran butirannya rata-rata $D_{50} = 60$ mikrometer untuk mudah membedakan antara wash load dan bed material load. Transport sedimen secara umum dinyatakan sebagai berat / volume kering per waktu atau bulk volume yang memasukkan angka pori kedalam volume tetap per unit waktu. Untuk pengukuran ketiga jenis transport sedimen (wash load, bed load, suspended load) dibutuhkan alat dan metode khusus.

2.8 Angkutan Sedimen

2.8.1 Sedimen Dasar (*bed load*)



Sedimen dasar terjadi apabila terdapat gerakan partikel sedimen dalam terguling, tergelincir, atau melompat sepanjang dasar saluran. Umumnya sedimen dasar berkisar 5-25% dari angkutan sedimen melayang. akibat

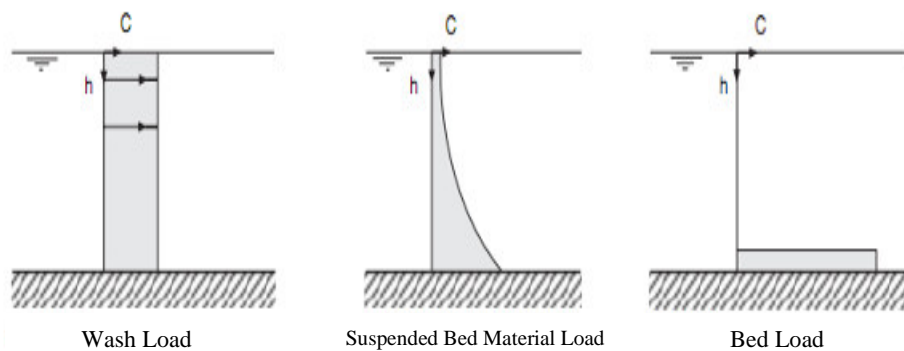
tegangan geser, material sedimen dasar bergerak dalam bentuk lapis per lapis (series of layers) sejajar dengan dasar saluran, dimana kecepatan untuk masing-masing lapis bervariasi, dengan kecepatan maksimum diasumsikan terjadi pada lapisan paling atas, yaitu pada permukaan dasar, dan kecepatan minimum (nol) terjadi pada lapisan paling bawah, yang berada pada kedalaman tertentu di bawah dasar (Graf, 1984). Sedimen dasar juga terjadi pada kondisi aliran yang relative rendah Dimana kecepatan aliran air tidak cukup tinggi untuk mengangkat butiran atau partikel tersebut. Menurut, Soewarno (1991) bahwa muatan sedimen dasar merupakan partikel-partikel kasar yang bergerak pada dasar sungai secara keseluruhan. Kebanyakan dari persamaan sedimen dasar ini menggunakan angka-angka empirik yang bersifat konstan. Sebagian besar formulasi sedimen dasar yang ada menunjukkan hubungan antara parameter transpor dan parameter aliran.

2.8.2 Sedimen Melayang (suspended load)

Angkutan sedimen melayang adalah sedimen yang terdiri dari komponen-komponen material yang sifatnya cenderung bergerak naik akibat suatu aliran tetap berada pada kondisi turbulen, hingga mengakibatkan keadaan melayang selama beberapa waktu. Angkutan Sedimen Melayang dapat dipandang sebagai material dasar sungai yang melayang didalam aliran sungai. Menurut, Soewarno (1991) bahwa muatan sedimen melayang merupakan material dasar sungai yang melayang di dalam aliran sungai dan terdiri dari butiran-butiran pasir halus yang senantiasa mengambang di atas sungai, karena selalu didorong ke atas oleh turbulensi aliran. Yang termasuk dalam sedimen melayang adalah sedimen yang Bersatu Bersama dengan aliran, umumnya ukuran sedimen melayang dimulai dari ukuran 0,062 mm ke bawah atau di bawah very fine sand, ukuran sedimen melayang akan sulit untuk diukur dengan saringan. (Sengupta S.M., 1994). Banyak persamaan sedimen suspensi yang telah dikembangkan seperti persamaan Engelund dan Hansen namun persamaan ini tidak memberikan informasi yang cukup terkait distribusi konsentrasi dari butiran pada arah vertical, besarnya konsentrasi (C) ditentukan secara teoritik



anyak kasus pengukuran sedimen suspensi dilakukan di lapangan agar distribusi konsentrasi arah vertikal untuk berbagai jenis transport sedimen aji pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Distribusi konsentrasi arah vertikal (setelah; Hayes, 1978).

2.8.3 Wash Load

Wash load adalah transpor butiran sedimen yang berukuran kecil dan halus dibanding dengan sedimen dasar juga sangat jarang ditemukan didasar sungai. Partikel halus ini akan terbawa aliran sampai ke laut, dapat juga mengensap di aliran yang tenang. Besarnya wash load banyak ditentukan oleh karakteristik klimatologi dan erosi dari daerah tangkapan (catchment area). Sumber utama dari *wash load* merupakan hasil dari pelapukan lapisan atas batuan atau tanah dan terjadi pada aliran yang mempunyai kecepatan relatif cepat sehingga terjadi loncatan loncatan material yang terbawa arus. Dalam perhitungan gerusan lokal (local scouring) wash load tidak begitu penting sehingga diabaikan namun untuk perhitungan sedimentasi di daerah dengan kecepatan aliran yang rendah seperti: waduk, pelabuhan, cabang sungai wash load diperhitungkan.

2.9 Konsep Dasar Pergerakan Sedimen dan Karakteristik Partikel Sedimen

2.9.1 Konsep Dasar Pergerakan Sedimen

Air mengalir diatas sedimen dasar, maka ada gaya yang mendorong butiran, dimana gaya ini cenderung menggerakkan partikel sedimen. Gaya yang menahan akibat aliran air tergantung dari sifat-sifat material. Untuk sedimen kasar seperti pasir dan kerikil, gaya tahanan utamanya adalah berhubungan dengan berat sendiri partikel. Ketika gaya- gaya hidrodinamik bekerja pada partikel-partikel an dasar saluran tersebut, maka secara bersamaan juga terjadi peningkatan aliran. Oleh sebab itu, untuk suatu dasar saluran tertentu yang pada dalam keadaan tidak bergerak, suatu kondisi aliran pada akhirnya akan



tercapai manakala partikel-partikel dasar tidak mampu lagi menahan gaya-gaya hidrodinamis tersebut sehingga tercipta suatu kondisi kritis yang mengakibatkan terjadinya gerakan pada dasar (*bed load*) saluran.

Dalam kondisi normal umumnya gerakan partikel-partikel ini tidak terjadi secara simultan untuk semua partikel dengan ukuran tertentu yang terletak pada lapisan atas. Pada kenyataannya, untuk setiap kondisi hidrolis tertentu, sebagian partikel akan bergerak sedangkan sebagian yang lain tidak bergerak. Hal ini disebabkan oleh sifat *probabilistic* dari pada permasalahan ini, yang secara implisit memberikan kenyataan bahwa aliran bersifat turbulen walaupun tidak terjadi secara sempurna.

Pembahasan mengenai teori awal pergerakan sedimen atau yang sering juga disebut kondisi kritis atau penggerusan awal meliputi analisa gaya yang bekerja pada partikel- partikel sedimen tersebut. Untuk sedimen berupa pasir dan kerikil, maka gaya yang menahan pergerakan butiran akibat aliran air ialah gaya berat butiran itu sendiri. Lain halnya dengan dengan partikel yang lebih halus yang berupa lumpur atau tanah liat maka selain gaya berat, maka gaya kohesif juga akan sangat berpengaruh dalam menahan pergerakan butiran sedimen.

2.9.2 Sifat Partikel Sedimen

Selain dari pergerakan sedimen tersebut juga sangat penting untuk mengetahui sifat-sifat dari sedimen itu sendiri. Sifat yang dimaksud adalah ukuran partikel dan distribusi sedimen, rapat massa, kecepatan endap, bentuk, dan tahanan terhadap erosi, dan sebagainya (Triadmodjo, 1999).

2.9.3 Ukuran Partikel Sedimen

Ukuran partikel sedimen diketahui melalui saringan dengan cara mengamati Sedimen yang lolos pada saringan. Saringan yang digunakan merupakan saringan dengan standar amerika. ukuran partikel sedimen memainkan peran penting dalam proses erosi, abrasi, dan transportasi sedimen. Partikel-partikel yang lebih kecil

g lebih mudah terangkut oleh aliran air atau angin, sementara partikel yang ar mungkin tetap di tempatnya atau bergerak hanya pada kecepatan aliran ggi. Sedimen dibagi berdasarkan ukuran butirannya ke dalam beberapa



kategori, seperti lempung lumpur, pasir, kerikil, koral, dan batu. Material yang sangat halus seperti lumpur dan lempung cenderung lebih kohesif, artinya partikel-partikel ini lebih cenderung melekat satu sama lain dan sulit untuk dipisahkan. Karena sifat kohesif ini, sedimen jenis ini lebih mungkin terakumulasi di tempat-tempat dengan aliran air yang lambat, seperti sungai yang tenang.

Ukuran partikel merupakan karakteristik sedimen yang dapat diukur secara nyata. Abdul Ghani, dkk. (2012) menggunakan klasifikasi berdasarkan standar U.S. Army Corps Engineer (USACE) untuk analisa saringan sampel sedimen. Syahrul Purnawan, dkk. (2011) menggunakan teknik analisis penyaringan dengan metode ayak basah yang menggunakan saringan sedimen bertingkat dengan diameter berbeda-beda. Berbagai metode digunakan untuk menganalisis ukuran butiran seperti, metode sedimentasi untuk ukuran butiran lumpur sampai lanau, juga untuk ukuran butiran pasir sampai kerikil. Analisis ini memberikan hasil kurva distribusi ukuran butiran, dari kurva ini kebutuhan informasi untuk penghitungan sedimen dasar dapat diketahui. Diameter nominal, d_n , dari butiran didefinisikan sebagai diameter bola yang mempunyai volume yang sama dengan volume butiran Diameter jatuh (fall velocity), dari butiran didefinisikan sebagai diameter bola dengan berat jenis spesifik 2,65 yang mempunyai kecepatan jatuh standar sama dengan kecepatan jatuh butiran.

Menurut Ponce (1989), kecepatan jatuh merupakan fungsi ukuran, bentuk, berat volume partikel, berat volume dan kekentalan air di sekitarnya. Untuk partikel dengan bentuk yang tidak bulat (*spherical*), sedangkan Kecepatan jatuh standar didefinisikan sebagai kecepatan jatuh dari butiran dalam air suling pada suhu 24°C. Diameter sedimentasi adalah merupakan diameter bola yang mempunyai berat spesifik dan kecepatan pengendapan yang sama dengan butiran sedimen, dalam zat cair yang sama dan pada kondisi yang sama pula. Diameter saringan, paling sering digunakan. Untuk menentukan ukuran butiran dengan saringan, digunakan beberapa saringan dengan ukuran lubang yang berbeda. Pengukuran diameter butiran dengan cara ini dilakukan untuk butiran yang mempunyai diameter lebih besar dari 0.0625



mm dengan ukuran saringan yang paling terkecil. **Tabel 3** menyajikan sifat kekuatan dan struktur dari butiran sedimen sehingga kita dapat mengetahui beberapa karakteristik dari beberapa jenis butiran sedimen.

Tabel 3. Tabel karakteristik kekuatan dan struktur (setelah; Hayes, 1959)

			Strength		Structure	
Types			Term	Field Test	Term	Field Identification
Coarse grained, non cohesive	Bounders			Can Be excavated with spade, 2" wooded peg can easily be driven in	Homogeneous	Deposit consisting essentially to one type
	Cabbles					
	Gravel					
	Uniform	Sands	Compact	Require pick for excavation, 2" wonded peg hard to drive more than a few inches	Stratified	Alternatively layers of varying types
	Graded			Slightly cemented Visual examination Pick remove soil in lumps which can be abraded with thumb		
Fine grained, cohesive	low plasticity	Silts	Soft	Easily moulded in fingers Particles mostly barely or not visible : dries moderately and can bu dusted from the fngres	homogeneant	Deposit consisting essentially to one type
			Firm	Can be moulded by strong pressure in fingers		Alternating layers of varying types
	Medium plasticity	Clays	Very soft	Exudes between fingers when squeezed in fist	Fissured	Breaks into polyhedral fragments along fissure planes
			soft	Easily moulded in fingers	Intact	No fissures
			Firm	Can be moulded by strong pressure in the fingers general : dry lumps can be broken, but not powdered disintergrates under water sticks to the fingers dries slowly with cracks	Homogeneous stratified	Deposits consisting of essentially one type. Alternating layers of varying types if layers are thin, the soil maybe described as laminated
	High plasticity		Stiff	Cannot be moulded in fingers		
			Hard	Brittle or very tough	Weathered	Usually exhibitscrums or columnar structure

Bentuk butiran adalah merupakan salah satu sifat sedimen yang sering dianggap ikut berpengaruh terhadap proses angkutan sedimen. Untuk menyatakan butiran sering digunakan koefisien / parameter tersebut pada prinsipnya dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian, yaitu:

- koefisien yang didasarkan pada volume butiran,
- koefisien yang didasarkan pada proyeksi luasan butiran, dan
- koefisien yang didasarkan pada sumbu triaxial (sumbu panjang, sumbu pendek dan sumbu menengah)



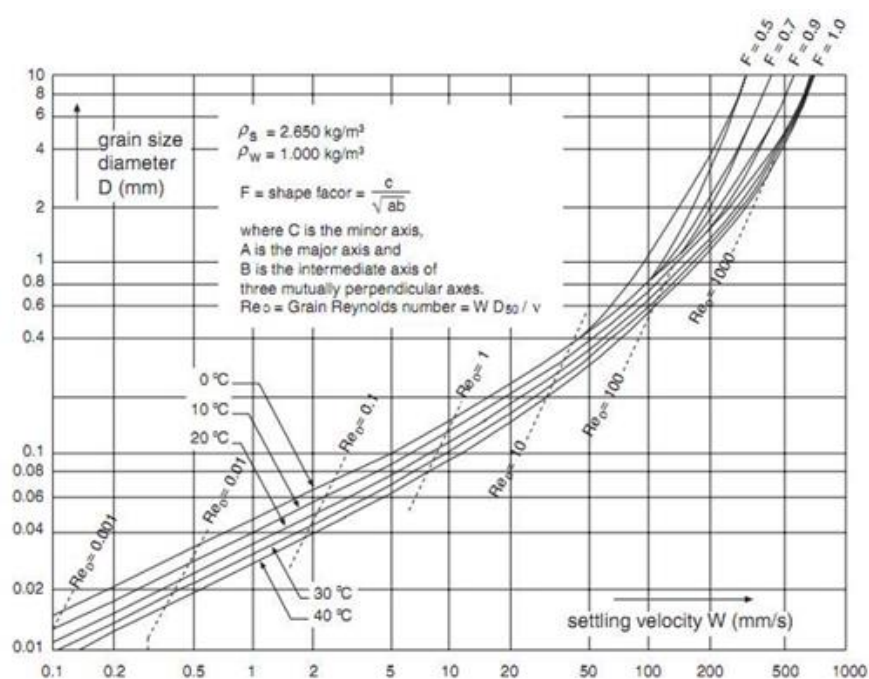
ai Shape factor didasarkan pada nilai-nilai sumbu triaxial yang saling as; yaitu sumbu panjang, a, sumbu menengah, b, dan sumbu pendek, c.

$$\frac{a \cdot b}{c} \quad (9)$$

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

$$Re = \frac{wd}{\nu} < 1 \quad \gg \quad C_D = \frac{24\mu}{wd\rho} = \frac{24}{Re} \quad (10)$$

Hubungan antara kecepatan pengendapan dan diameter ukuran butiran, shape factor, dan angka Reynolds tersaji pada gambar 7.



Gambar 7. Kurva hubungan antara kecepatan pengendapan dengan diameter ukuran butiran, shape factor, angka Reynolds)

2.9.4 Bentuk Partikel Sedimen

Corey (Schuls et al.,1954) telah menginvestigasi bentuk ukuran partikel dengan menggunakan faktor bentuk butiran,

$$S_p = \frac{c}{(ab)^{1/2}} \quad (11)$$



la rumus , a, b, dan c adalah ukuran partikel yang masing-masing dari anjang, pertengahan, dan paling pendek terhadap tegak lurus sumbu dan S_p adalah faktor bentuk

2.9.5 Gravitasi jenis

Densitas partikel sedimen diasumsikan menjadi gravitasi jenis (*specific gravity*) yang mana dapat didefinisikan sebagai rasi berat jenis sedimen (γ_s) terhadap berat jenis air (γ_w) pada suhu 4 celcius.

$$SG = \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} \right) \quad (12)$$

Partikel sedimen terangkut oleh air, utamanya terdiri dari material pasir yang mempunyai gravitasi jenis $SG = 2,65$

2.9.6 Kecepatan Jatuh

Kecepatan jatuh sedimen merupakan fungsi ukuran, bentuk, berat volume partikel, berat volume dan kekentalan air di sekitarnya. Oleh karena ukuran partikel sedimen tidak seragam pada suatu penampang, maka digunakan diameter rata-rata (D_m), dimana D_m didapat berdasarkan jumlah total dari perkalian antara persentase berat setiap bagian ukuran butir. Kecepatan jatuh juga merupakan kondisi dimana kecepatan partikel mencapai kedalaman air pada kondisi terjadi aliran sedimen air, dan selama partikel sedimen masih berlangsung melayang, terangkut, dan mengendap. Ukuran, bentuk kekasaran permukaan, viskositas, serta berat jenis memengaruhi kecepatan jatuh. Kecepatan jatuh dapat dihitung dari keseimbangan berat terapung partikel dan gaya tahanan atau gaya seret fluida (*gaya drag*).

$$F_d = C_D \rho A \frac{w^2}{2} \quad (13)$$

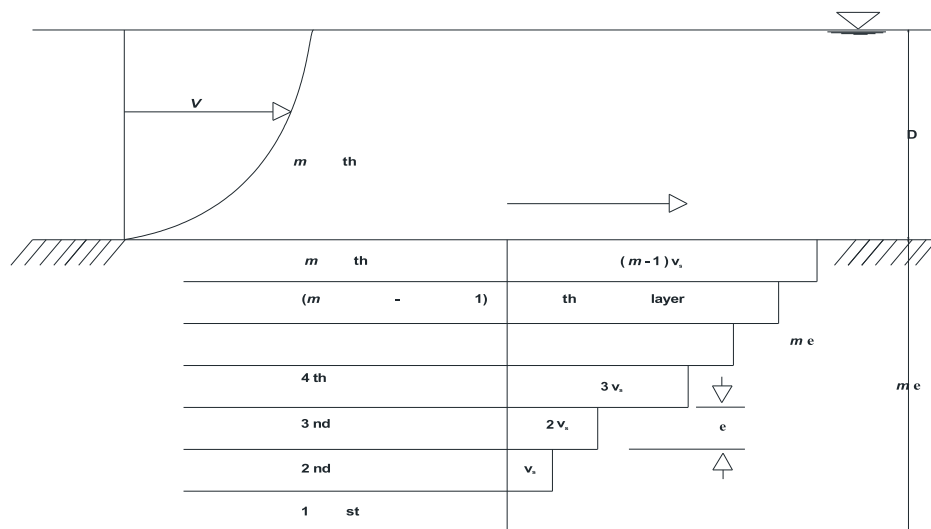
Konsentrasi sangat mempengaruhi kecepatan jatuh, semakin tinggi konsentrasi semakin tinggi pula kecepatan jatuhnya. Untuk sedimen non kohesif, kecepatan jatuhnya dihitung dengan rumus stokes yang tergantung pada rapat massa sedimen, viskositas air, dimensi dan bentuk partikel sedimen. Untuk sedimen jenis ini kecepatan endap dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti salinitas, konsentrasi sedimen suspensi dan diameter partikel. Konsentrasi sedimen suspensi merupakan parameter paling penting dalam proses flokulasi, dimana dimana resultan gaya permukaan yang bekerja pada partikel adalah dominan gaya tarik, maka partikel akan berkumpul dan uk kumpulan sedimen yang disebut flokon dengan dimensi yang lebih i pada partikel sedimen individu.



2.10 Rumus pendekatan angkutan sedimen dasar

2.10.1 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). *DuBoys* (1979) mengasumsikan bahwa partikel sedimen bergerak berlapis-lapis di sepanjang lapisan. Lapisan ini bergerak karena gaya traksi yang bekerja di sepanjang dasar. Ketebalan setiap lapisan adalah ϵ . Dalam kondisi kesetimbangan, gaya traktif harus diimbangi oleh gaya tahanan total di antara lapisan-lapisan ini, yaitu:



Gambar 8. Sketsa model bed load menurut DuBoys (Pallu, M. S., 2012)

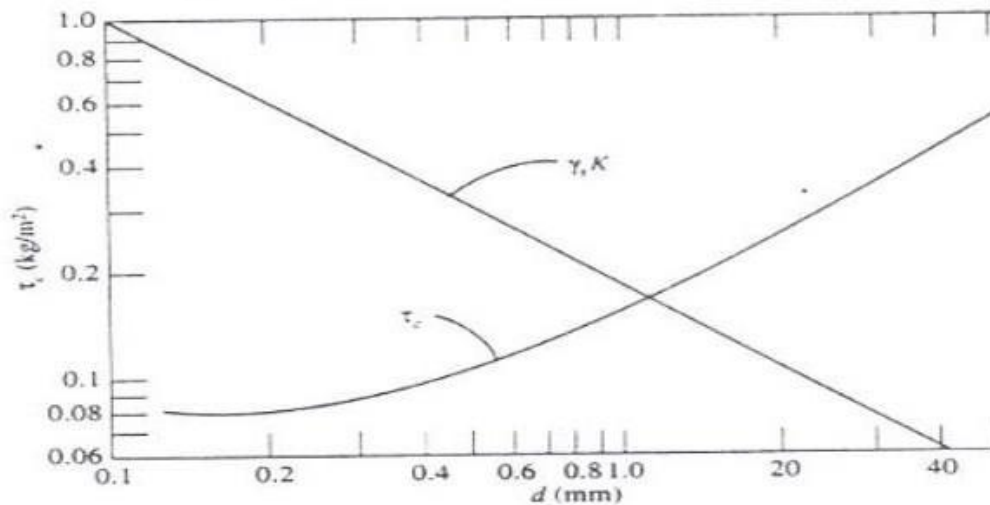
$$\tau = \gamma \cdot D \cdot S \quad (14)$$

Dengan :



Berat jenis air
Kedalaman estuary
Kemiringan.

Kekuatan traksi kritis di dasar (τ_c) dapat dihitung dengan diagram yang diberikan



Gambar 9. Parameter sedimen dan gaya traksi kritis untuk persamaan bed-load DuBoys (Satuan metrik)

Muatan sedimen dasar (*Bed Load*) dapat dihitung menggunakan rumus:

$$qb = \frac{0.173}{d \times 0.75} \tau (\tau - \tau_c) \quad (15)$$

Dengan :

D = Diameter partikel sedimen yang 50% lolos saringan.

Muatan sedimen dasar (*Bed Load*) per satuan lebar, dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$qm = \frac{\sqrt{qb}}{B} C_m \quad (16)$$

Dengan :

qm = muatan sedimen dasar (*Bed Load*) per satuan lebar

B = lebar *estuary*

Cm = konsentrasi berat kering sedimen.

Persamaan yang dikemukakan oleh Duboys telah diteliti oleh para ahli yang berbeda-beda dan disimpulkan dari hasil percobaan yang dilakukan pada flume kecil hingga yang kecil, sehingga pengaplikasiannya cocok untuk studi prototype pendekatan Shields

dalam penelitian Shields tentang pergerakan awal sedimen dengan



mengukur kondisi aliran dengan sedimen transport yang lebih besar dari nol lalu memberikan hubungan terhadap penentuan kondisi suatu aliran yang memiliki hubungan pada geraknya baru mulai. Berikut merupakan persamaan Shields :

$$\frac{qb\gamma_s}{q\gamma S} = 10 \frac{\tau - \tau_c}{(\gamma_s - \gamma)d} \quad (17)$$

Dimana,

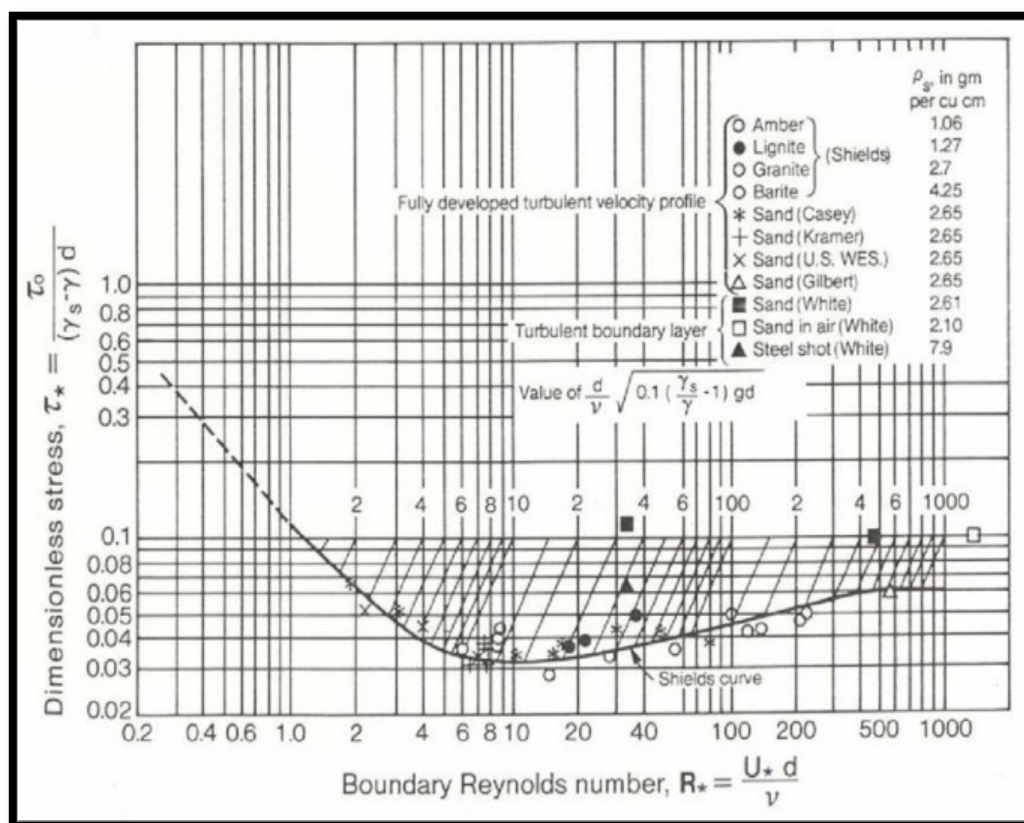
qb, q = debit angkutan dasar dan debit air per satuan lebar saluran

d = diameter partikel sedimen,

τ = γDs

γ_s, γ = berat jenis sedimen dan air

Tegangan geser kritis, τ_c dapat ditentukan dari diagram shield pada grafik dari vanoni



Gambar 10. Diagram Shield untuk gerakan awal butiran)



endekatan Kalinske

nurut Kalinske (1947) Transport sedimen merupakan fungsi dari τ sesaat saat nilainya melebihi kecepatan rata-rata (kecepatan saat awal

butiran bergerak). Pada kondisi aliran turbulen rerata kecepatan sesaat merupakan fungsi dari rasio pada tegangan geser kritis dan tegangan geser pada saluran dimana dapat disederhanakan sebagai berikut,

$$\frac{qb}{u_* d} f' \left(\frac{\tau c}{\tau} \right) \quad (18)$$

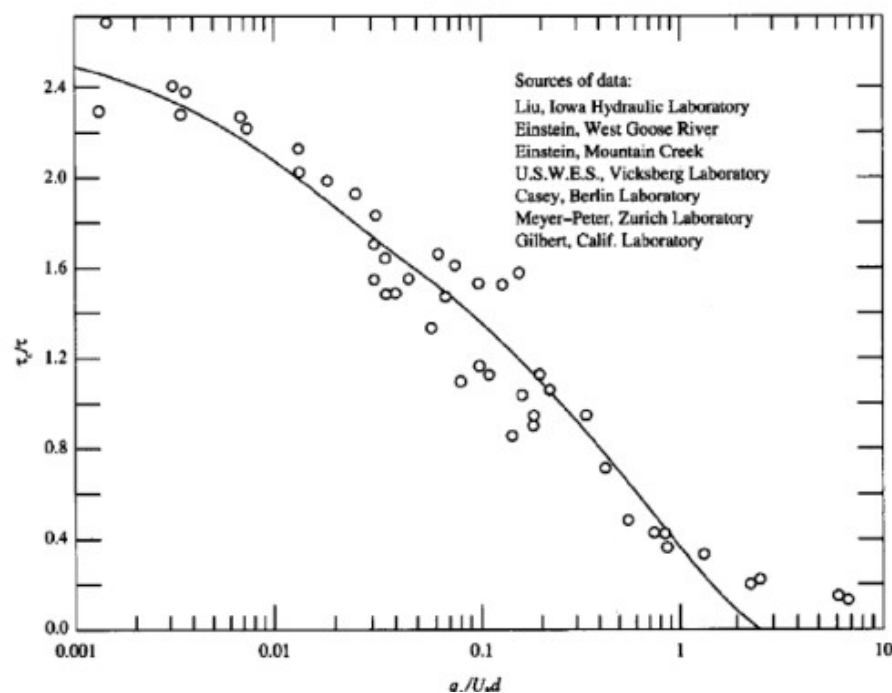
Dimana,

Q_b = debit angkutan dasar dan debit air per satuan lebar saluran

D = diameter partikel sedimen,

τ = tegangan geser

τc = tegangan geser kritis



Gambar 11. Persamaan bed load dari kalinske

2.10.4 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 :

$$0,4 q_b^{2/3} = \frac{q^{2/3} s}{d} \quad (19)$$



$$q_b^{2/3} = \left[\frac{q^{2/3} S}{d} - 17 \right] \left[\frac{d}{0,4} \right]. \quad (20)$$

Dimana :

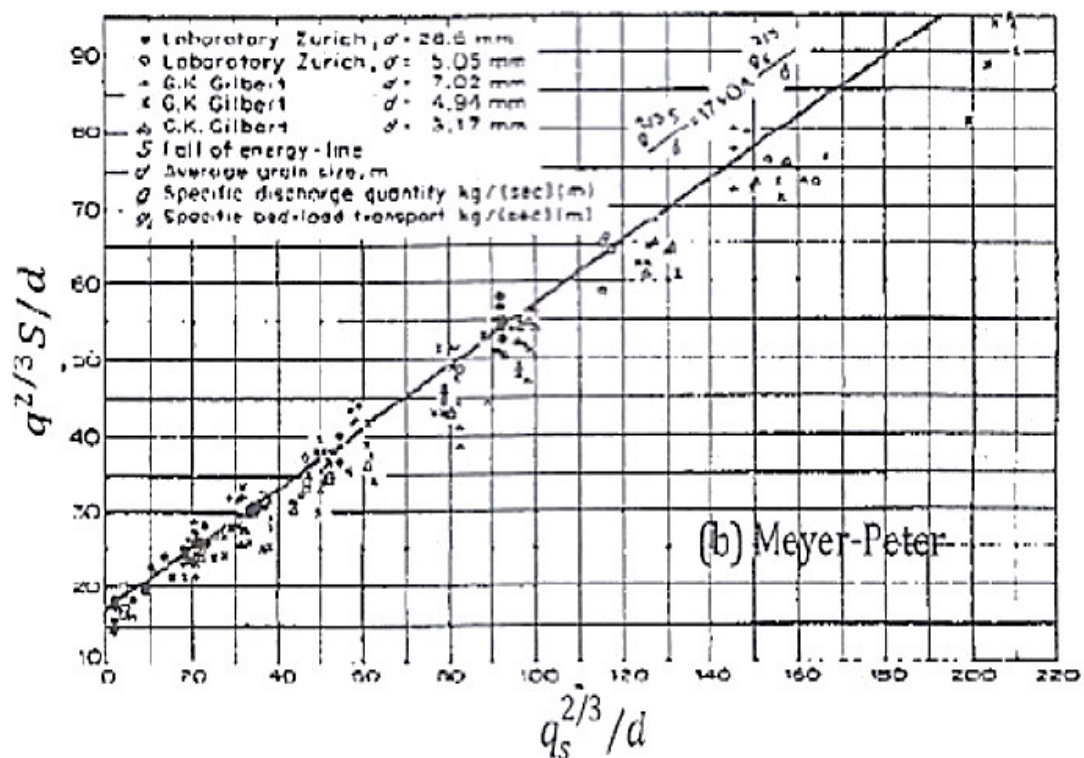
q_b = debit bed load (m^3/det)

q = debit air (m^3/det)

S = kemiringan dasar sungai

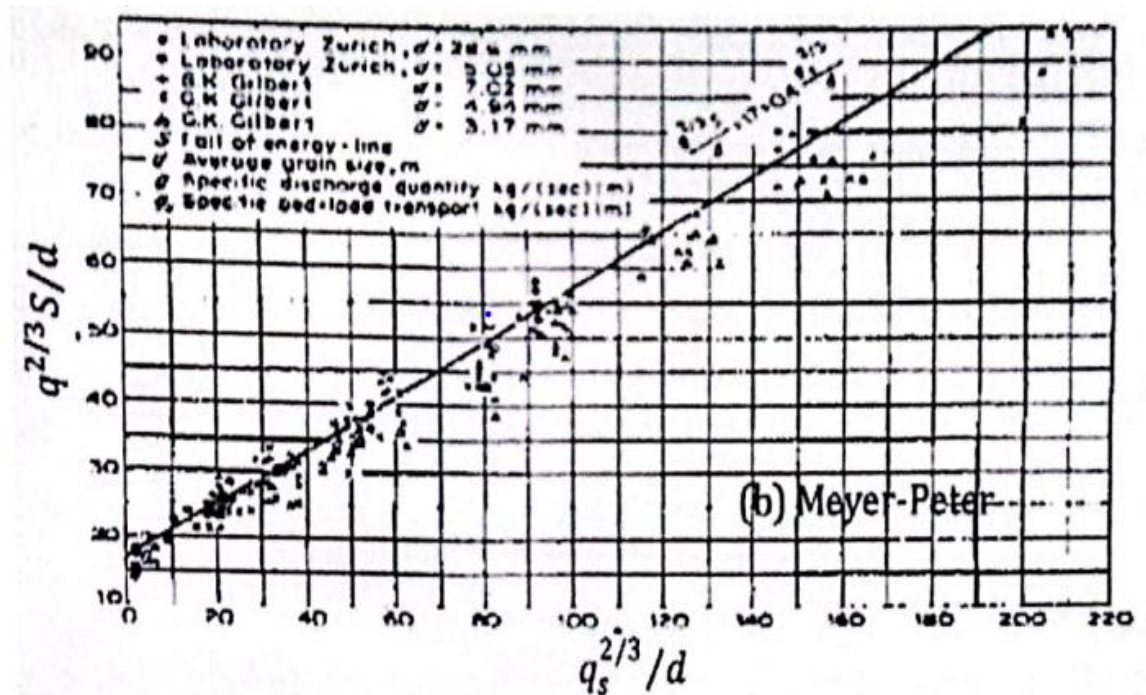
d = diameter butiran sedimen (m)

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.



Gambar 12. Fungsi angkutan Meyer-Peter (Pallu, M.S.,2012)





Gambar 13. Fungsi angkutan Meyer-Peter (Pallu, M.S.,2012)

Namun pada tahun 1948 Meyer-Peter dan Muller mentranformasikan formula ini menjadi

$$\gamma \left(\frac{K_s}{K_r} \right)^{3/2} RS = 0.047(\gamma_s - \gamma)d + 0.25\rho^{1/3}qb^{2/3} \quad (21)$$

Dimana:

γ_s, γ = berat jenis air dan sedimen (ton/m³)

R = jari-jari hidrolis (m),

D = kemiringan energi

ρ = massa jenis air (ton-det/m⁴)

qb = debit bed load (ton/det/m)

ks/kr = jenis kemiringan yang diatur semacam kehilangan energi total

kemiringan energi dan kemiringan energi akibat ketahanan butiran dapat dan dihitung dari formula Strickler yaitu

$$\frac{2}{R^{4/3}} S = \frac{v^2}{Kr^2 R^{4/3}} \quad (22)$$



2.10.5 Pendekatan Schoklitsch

Schoklitsch menentukan angkutan dasar sedimen dengan menggunakan debit air. Terdapat dua formula yang dikemukakan oleh Schoklitsch pada tahun 1934 dan 1943. Untuk formula pada tahun 1943 yaitu sebagai berikut,

$$qc = \frac{0,00001944d}{S^{4/3}} \quad (23)$$

dimana,

qc = debit air kritis (m³/det/m)

d = ukuran partikel sedimen (mm)

S = kemiringan

Persamaan diatas merupakan persamaan untuk mencari debit air kritis dengan sedimen dalam satuan mm yang memiliki SG=2,65, dan untuk persamaan tahun 1943 Schoklitsch membuat rumus dalam satuan meter,

$$qc = \frac{0,6d^{3/2}}{S^{7/6}} \quad (24)$$

untuk rumus angkutan sedimen yang dikemukakan pada tahun 1934 dalam satuan meter dan satuan diameter butiran mm yaitu,

$$qb = 7000 \frac{S^{3/2}}{d^{1/2}} (q - qc) \quad (25)$$

dimana,

qb = debit angkutan sedimen (kg/det/m)

q = debit air (m³/det/m)

qc = debit air kritis (m³/det/m)

d = diameter partikel sedimen (mm)

S = kemiringan

dan untuk rumus angkutan sedimen yang dikemukakan pada tahun 1943 dalam satuan meter dan satuan diameter butiran m yaitu,



$$.500S^{3/2}(q - qc) \quad (26)$$