

TUGAS AKHIR

**STUDI EXPERIMEN HUBUNGAN BESARNYA ALIRAN AIR DENGAN
TOTAL ANGKUTAN SEDIMEN PADA SALURAN TERBUKA**



OLEH :

HASBULLAH ANAS

D 111 07 123

JURUSAN SIPIL FAKULTAS

TEKNIK UNIVERSITAS

HASANUDDIN

2013

TUGAS AKHIR

STUDI EXPERIMEN HUBUNGAN BESARNYA ALIRAN AIR DENGAN TOTAL ANGKUTAN SEDIMEN PADA SALURAN TERBUKA



OLEH :

HASBULLAH ANAS

D 111 07 123

JURUSAN SIPIL FAKULTAS

TEKNIK UNIVERSITAS

HASANUDDIN

2013

“STUDI EXPERIMEN HUBUNGAN BESARNYA ALIRAN AIR DENGAN TOTAL ANGKUTAN SEDIMEN PADA SALURAN TERBUKA”

Mahasiswa :

HASBULLAH ANAS

D 111 07 123

Mahasiswa S1 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin

Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10

Kampus Tamalanrea, Makassar 90245, Sul-Sel

E-mail: ullakozonk7@gmail.com

Pembimbing I :

Dr. Ir. H. Halidin Arfan, MSc

Dosen Jurusan Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10

Kampus Tamalanrea,

Makassar 90245, Sul-Sel

Pembimbing II :

Miranda R. Malamassam, ME.

Dosen Jurusan Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10

Kampus Tamalanrea,

Makassar 90245, Sul-Sel

ABSTRACT : Pengendapan sedimen merupakan permasalahan yang paling dominan pada saluran terbuka, pengetahuan mengenai angkutan sedimen yang terbawa oleh aliran akan mempunyai arti penting bagi kegiatan pengembangan dan menejemen sumber daya air, konservasi tanah, dan perencanaan bangunan pengaman pada sungai maupun pada saluran terbuka. Untuk menganalisa hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian yang mengkombinasikan antara permasalahan sedimen dengan besarnya aliran.

Penelitian ini dilakukan dengan menciptakan aliran untuk dimanfaatkan pada proses pengangkutan sedimen (bed load transport) dan (suspended load transport). Kemudian dilanjutkan dengan menganalisa perbandingan antara besar aliran (debit) dengan total angkutan sedimen dasar (bed load) dan total angkutan sedimen layang (suspended load).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa persentase debit sedimen yang keluar pada downstream saluran semakin besar berbanding lurus dengan besar aliran yang dikeluarkan pada upstream. Perhitungan debit sedimen dasar dengan pendekatan empat parameter, menunjukkan nilai bed load (q_b) yang paling mendekati hasil penelitian adalah parameter Shield sedangkan untuk perhitungan debit sedimen layang (suspended load) yang juga menggunakan empat parameter pendekatan, yang paling mendekati hasil penelitian adalah parameter Chang, Simons dan Ricardson, hal ini dikarenakan adanya beberapa faktor dan variabel yang mendekati kondisi sebenarnya seperti variabel berat jenis air, berat jenis sedimen, kedalaman saluran, konsentrasi sedimen, diameter sedimen dan gaya geser sedimen.

Keywords: Debit, Kecepatan Aliran, Sedimen, Bed Load Transport, Suspended Load Transport

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan inayahNya sehingga tugas akhir saya yang berjudul: *Studi Experimen Hubungan Besarnya Aliran Air Dengan Total Angkutan Sedimen Pada Sungai* dapat terlaksana dengan baik. Studi ini saya lakukan dengan observasi secara seksama pada saluran terbuka(Open Channel) di Laboratorim Hidrolika Universitas Hasanuddin dan melalui proses analisis data menggunakan beberapa literature serta asistensi yang intensif dengan pembimbing tugas akhir.

Harapan saya hasil penelitian ini dapat memberikan gambaran mengenai proses angkutan sedimen yang nantinya dapat memberikan arti penting bagi pengembangan dan manajemen sumber daya air,perencanaan bangunan sungai,pengendalian banjir serta irigasi pertanian. saya sangat menyadari akan banyaknya kekurangan dalam penelitian ini. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati saya siap menerima berbagai masukan berupa saran dan kritik yang konstruktif demi penyempurnaan tugas akhir ini.

Pada kesempatan ini pula kami ingin menyampaikan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada:

1. Dr. Ing Ir. Wahyu H. Piarah, MS, ME sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Prof. Dr. Ir. H. Lawalenna Samang, MS, M.Eng sebagai Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Ir. H. Halidin Arfan, MSc sebagai dosen Pembimbing Pertama.
4. Miranda R Mallamassam, ME sebagai dosen Pembimbing Kedua.
5. Seluruh Dosen Pengajar Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Seluruh Staf Akademik Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

7. Para Asisten Laboratorium Hidrolika dan Mekanika Tanah Universitas Hasanuddin.
8. Teman – teman Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin angkatan 2007 yang selalu ada disaat saya membutuhkan bantuan dimanapun dan kapanpun.
9. Teman – teman Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
10. Andi Maeyanti yang selalu memberikan dorongan serta dukungan moril dan materil sehingga tugas ini dapat terselesaikan.

Dan teristimewa ucapan terima kasih ini saya persembahkan kepada Orang Tua dan saudara-saudara saya sebagai wujud dari rasa hormat dan cinta sepanjang masa yang telah banyak memberikan dorongan moril dan materil sampai pada akhir perkuliahan saya, sekali lagi terima kasih.

Mudah-mudahan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan terutama bagi saya selaku penyusun. Sebagai penutup saya mengharapkan saran dan kritik dari para pembaca untuk kesempurnaan tugas akhir ini.

Wassalam.

Makassar, Mei 2013.

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR LAMPIRAN.....	vi
DAFTAR NOTASI.....	vii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang.....	I - 1
1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	I - 2
1.3 Pokok Bahasan.....	I - 2
1.4 Batasan Masalah.....	I - 3
1.5 Sistematika Penulisan.....	I - 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Uraian.....	II - 1
2.2 Konsep Dasar Aliran pada Saluran Terbuka.....	II - 1
2.3 Angkutan Sedimen.....	II - 3
2.3.1 Defenisi.....	II - 3
2.3.2 Problem sedimen pada saluran terbuka.....	II - 7
2.3.3 Jenis-jenis angkutan sedimen.....	II - 9
2.4 Konsep Dasar Pergerakan Sedimen.....	II - 11

2.5 Sifat – Sifat Bahan Angkutan Sedimen.....	II – 14
2.5.1 Ukuran partikel sedimen.....	II – 14
2.5.2 Bentuk partikel sedimen.....	II – 16
2.6 Angkutan Sedimen Dasar (<i>bed load sediment</i>).....	II – 16
2.6.1 Mekanisme pengangkutan.....	II – 16
2.6.2 Persamaan <i>bed load</i>	II – 16
2.7 Angkutan Sedimen Layang (<i>suspended load sediment</i>).....	II – 23
2.7.1 Mekanisme pengangkutan.....	II – 23
2.7.2 Persamaan <i>suspended load</i>	II – 23
2.7.3 Teori perubahan dalam kondisi seimbang.....	II – 24
2.7.4 Formula <i>suspended load</i>	II – 23

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Umum.....	III - 1
3.2 Persiapan Dan Peralatan Penelitian.....	III – 1
3.2.1 Persiapan penelitian.....	III – 1
3.2.2 Peralatan penelitian.....	III – 1
3.2.3 Bahan penelitian.....	III – 3
3.3 Pelaksanaan Penelitian.....	III – 3
3.3.1 Tempat penelitian.....	III – 3
3.3.2 Waktu penelitian.....	III – 3
3.3.3 Prosedur percobaan.....	III – 3
3.3.3.1 Prosedur percobaan pada kondisi saluran normal	III – 4
3.3.3.2 Prosedur percobaan setelah penambahan sedimen	III – 5
3.3.4 Flowchart percobaan.....	III – 6

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian.....	IV – 1
4.1.1 Data hasil pemeriksaan material sedimen.....	IV – 1
4.1.2 Pengukuran debit air (Q_w).....	IV – 2
4.2 Hasil Pembahasan.....	IV – 4
4.2.1 Perhitungan debit air (Q_w).....	IV – 4
4.2.2 Perhitungan Angka Reynolds (Re).....	IV - 5
4.2.3 Perhitungan debit sedimen (Q_s).....	IV – 6
4.2.3.1 Perhitungan angkutan sedimen dasar (<i>bed load</i>)....	IV – 6
4.2.3.2 Perhitungan angkutan sedimen layang (<i>suspended load</i>). IV – 9	
4.2.3.3 Perbandingan sedimen dasar dan sedimen layang.....	IV – 11
4.2.4 Perhitungan debit sedimen dasar (Q_b)dengan rumus empiris	IV - 13
4.2.4.1 Pendekatan dengan parameter gaya geser.....	IV – 13
4.2.4.2 Pendekatan dengan parameter slope energy.....	IV – 16
4.2.4.3 Pendekatan dengan parameter debit.....	IV – 17
4.2.5 Perhitungan debit sedimen layang (Q_s) dengan rumus empiris	IV - 21
4.2.5.1 Pendekatan dengan parameter Persamaan Rouse.....	IV - 21
4.2.5.2 Pendekatan dengan parameter Pengaruh Suspended load terhadap Z, K , dan distribusi kecepatan.....	IV - 29

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	V – 1
5.2 Saran.....	V – 2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kode Tekstur Struktur Tanah.....	II – 5
Tabel 2.2 Kode Permeabilitas Tanah.....	II - 5
Tabel 2.3 Ukuran Partikel Butiran Berbagai Partikel Sedimen.....	II - 14
Tabel 2.4 Klasifikasi Jenis Tanah	II – 15
Tabel 4.1 Data Analisa Saringan (Sieve Analysis).....	IV- 1
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Debit.....	IV- 2
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Debit Air dan Sedimen.....	IV- 3
Tabel 4.4 Rekapitulasi Perhitungan Debit Air dan Sedimen.....	IV- 3
Tabel 4.5 Rekapitulasi Nilai Reynolds.....	IV- 5
Tabel 4.6 Perhitungan Bed Load (2 mm) dengan Pendekatan DuBoys.....	IV- 14
Tabel 4.7 Perhitungan Bed Load (2 mm) dengan Pendekatan Shields.....	IV- 15
Tabel 4.8 Perhitungan Bed Load (2 mm) dengan Pendekatan Meyer-Peter.....	IV- 17
Tabel 4.9 Perhitungan Bed Load (2 mm) dengan Pendekatan Scholisch.....	IV- 18
Tabel 4.10 Perbandingan Bed Load (2 mm) dengan Penelitian Langsung	IV- 19
Tabel 4.11 Perhitungan Suspended Load (0,43 mm) dengan Pendekatan Lane...IV-	23
Tabel 4.12 Perhitungan Suspended Load (0,43 mm) dengan Pendekatan Einstein.IV-	26
Tabel 4.13 Perhitungan Suspended Load (0,43 mm) dengan Pendekatan Chang....IV-	29
Tabel 4.14 Perhitungan Suspended Load (0,43 mm) dengan Pendekatan Brooks...IV-	32

Tabel 4.15 Perbandingan Suspended Load(0,43 mm)dengann Penelitian Langsung..IV-32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Aliran Pada Saluran Terbuka.....	II – 2
Gambar 2.2 Skema Penggolongan Angkutan Sedimen.....	II – 11
Gambar 2.3 Kriteria Sedimentasi,Transportasi,dan Erosi.....	II – 13
Gambar 2.4 Sketsa Bed Load Menurut DuBoys.....	II - 17
Gambar 2.5 Parameter Sedimen dan Gaya Tarik Kritis.....	II - 19
Gambar 2.6 Diagram Shields.....	II – 21
Gambar 2.7 Koefisien Difusi Momentum Fluida.....	II – 26
Gambar 2.8 Distribusi Sedimen Melayang.....	II – 27
Gambar 2.9 Hubungan Antara Z dan Z_1	II – 28
Gambar 2.10 Pengaruh Beban Melayang Pada Nilai k.....	II – 29
Gambar 2.11 Penampang Kecepatan.....	II – 29
Gambar 2.12 Hubungan Antara PL Dengan ω/U^*	II – 31
Gambar 2.13 Faktor Koreksi Dalam Distribusi Kecepatan.....	II – 32
Gambar 2.14 Fungsi I_1 Dengan A Untuk Nilai Berbeda Dari Z.....	II – 33
Gambar 2.15 Fungsi I_2 Dengan A Untuk Nilai Berbeda Dari Z.....	II – 33
Gambar 2.16 Fungsi Angkutan Beban Melayang Brook.....	II – 35
Gambar 2.17 Fungsi I_1 Dengan Ketebalan Batas Material Dasar ξa	II – 36
Gambar 2.18 Fungsi I_2 Dengan Ketebalan Batas Material Dasar ξa	II – 37

Gambar 3.1	Prototype Saluran	III – 2
Gambar 4.1	Grafik Perbandingan Debit Air Pada Kondisi Normal.....	IV – 4
Gambar 4.2	Grafik Hubungan Nilai Reynold Dengan Kecepatan	IV – 5
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Q_w Dengan V_w (Bed Load).....	IV – 7
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Q_s Dengan V_w (Bed Load).....	IV – 7
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Q_w Dengan Q_s (Bed Load).....	IV – 8
Gambar 4.6	Grafik Hubungan Q_w Dengan V_w (Suspended Load).....	IV – 9
Gambar 4.7	Grafik Hubungan Q_s Dengan V_w (Suspended Load).....	IV – 10
Gambar 4.8	Grafik Hubungan Q_w Dengan Q_s (Suspended Load).....	IV – 10
Gambar 4.9	Grafik Hubungan Q_B dan Q_S Dengan V_w	IV – 11
Gambar 4.10	Grafik Hubungan Q_B dan Q_S Dengan Q_w	IV – 12
Gambar 4.11	Grafik Perbandingan Q_S (Bed Load) Dengan Beberapa Metode.....	IV – 20
Gambar 4.12	Grafik Perbandingan Q_S (Bed Load) Dengan Beberapa Metode.....	IV – 20
Gambar 4.13	Grafik Perbandingan Q_S (Suspended Load)Dengan Beberapa Metode	IV – 33

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Analisa saringan material sedimen.
- Lampiran 2 Data pengukuran debit air pada kondisi normal
- Lampiran 3 Data penelitian pengukuran air dan sedimen
- Lampiran 4 Rekapitulasi data debit setelah penambahan material sedimen.
- Lampiran 5 Tabel system klasifikasi menurut Unifed
- Lampiran 6 Tabel Kekentalan Kinematik Air Pada Tekanan Atmosfer
- Lampiran 7 Tabel Koefisien Manning
- Lampiran 8 Dokumentasi Penelitian

DAFTAR NOTASI

A	= Luas penampang saluran
b	= Lebar saluran
C_f	= Koefisien gesek
D	= Kedalaman
d_{50}	= Diameter butiran sedimen > 50% tertahan
g	= Gaya gravitasi
h	= Tinggi saluran
h_f	= Kehilangan energi
m	= Tebal lapisan
L	= Panjang karekteristik / panjang saluran
Q	= Debit
Q_w	= Debit air
$Q_{w\text{rata}}$	= Debit air rata-rata
Q_s	= Debit Sedimen
$Q_{s\text{rata}}$	= Debit sedimen rata-rata
q_b	= Debit sedimen dasar (<i>bed load</i>)
q_s	= Debit sedimen layang (<i>suspended load</i>)

- q_c = Debit kritis
- Re = Angka Reynolds
- S = Kemiringan saluran
- SW = Simbol untuk kategori pasir bersih menurut USCS
- T = Temperatur air
- t = waktu
- u = karakteristik kecepatan aliran, yang biasanya dari kecepatan rata-rata
- V = Volume
- v = Kecepatan
- y = Tinggi penampang saluran
- a = Tinggi dasar saluran
- ν = Kekentalan kinematic (*kinematic viscosity*)
- γ = Berat jenis air
- γ_s = Berat jenis sedimen
- τ = Tegangan
- τ_c = Tegangan kritis
- U^* = Kecepatan geser
- Ca = Konsentrasi Sedimen
- ω = Kecepatan jatuh sedimen

n = Koefisien Manning

a_2 = Dua kali diameter sedimen

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Sebagai daerah yang beriklim tropis dengan dua musim yang teratur, Indonesia mempunyai potensi keairan yang besar, baik dilautan maupun di perairan tawar, salah satunya sungai. Sungai adalah suatu saluran drainase yang terbentuk secara alamiah dan berfungsi untuk mengalirkan air. Akan tetapi disamping fungsinya tersebut, aliran sungai juga menggerus tanah dasarnya secara terus menerus sepanjang masa eksistensinya dan terbentuklah lembah-lembah sungai. Sejalan dengan curah hujan yang tidak merata disepanjang tahun menyebabkan adanya perubahan kecepatan aliran yang terjadi pada sungai tersebut yang turut mempengaruhi proses sedimentasi.

Permasalahan yang selalu muncul bersamaan dengan adanya aliran air dalam sungai adalah terjadinya proses angkutan sedimen. 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.

Laju sedimen sangat dipengaruhi oleh laju erosi lahan di bagian hulu daerah aliran sungainya, pada daerah hilir keberadaan sedimen akan menimbulkan dampak negatif seperti penurunan kualitas air, pendangkalan sungai, pengurangan kapasitas waduk dan lain sebagainya.

Sulawesi Selatan merupakan daerah dengan dilingkupi oleh daerah perbukitan yang dialiri banyak sungai yang membentang dari daerah hulu di bagian perbukitan sampai daerah hilir yang berada di daerah pantai dengan kemiringan terjal hingga datar. Hal ini menyebabkan aliran yang deras di hulu dan lambat di hilir. Pengangkutan sedimen terjadi disepanjang sungai terutama pada bagian tengah (middle) sungai, 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.

Sehubungan dengan hal tersebut, maka dilakukanlah penelitian tentang *Studi Eksperimen Hubungan Besarnya Aliran Air Dengan Total Angkutan Sedimen Pada Saluran Terbuka*.

Sebagai langkah awal, maka proses transformasinya dilakukan simulasi melalui penelitian di Laboratorium Hidrolika Universitas Hasanuddin dengan menggunakan prototype saluran terbuka (*Open Channel*).

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan antara besarnya aliran dengan total angkutan sedimen. Sehingga dapat mengatasi permasalahan endapan sedimen pada saluran terbuka secara efektif dan efisien.

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

- a. Untuk mengetahui hubungan antara besarnya aliran (debit) dengan besarnya kecepatan aliran.
- b. Untuk mengetahui hubungan antara besarnya aliran (debit) dengan total angkutan sedimen.
- c. Untuk mengetahui hubungan antara besarnya kecepatan aliran dengan total angkutan sedimen.

1.3 Pokok Bahasan

Sebagai pokok bahasan dalam penelitian ini adalah menganalisis hubungan besarnya total angkutan sedimen terhadap variasi besar aliran (Debit) dengan perhitungan secara langsung dan perhitungan secara tidak langsung atau dengan menggunakan rumus empiris.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Lokasi pengambambilan data dilakukan di Laboratorim Hidrolika Universitas Hasanuddin.
2. Permodelan fisik dilakukan dengan menggunakan saluran terbuka (*open channel*) dengan kemiringan 1 %.
3. Pengambilan data pada kondisi normal (licin).
4. Pengambilan data dilakukan setelah penambahan sedimen berbutir, dengan diameter 0,43 mm untuk sedimen layang (*suspended load*) dan diameter 2 mm untuk sedimen dasar (*bed load*), sesuai kriteria aliran sedimen: erosi, transportasi dan sedimentasi untuk butiran seragam (*Hjulstrom 1935* dikutip dari Pallu, M. S., 2012. *Teori Dasar Angkutan Sedimen Di Dalam Saluran Terbuka*).
5. Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan besar aliaran (debit) air yang keluar dengan total angkutan sedimen yang terbawa.
6. Data hasil penelitian diolah secara grafis dan dianalisis melalui metode parameter aliran saluran terbuka dan angkutan sedimen berdasarkan pendekatan para ahli.

1.5 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pembahasan dalam penelitian ini, maka sistematika penulisan penelitian disusun dalam lima bab. Adapun sistematika penulisan penelitian adalah sebagai berikut :

BAB I. PENDAHULUAN

Menguraikan tentang latar belakang masalah, maksud dan tujuan penelitian, pokok bahasan dan batasan masalah serta sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Menyajikan teori-teori yang digunakan sebagai landasan untuk menganalisis dan membahas permasalahan penelitian.

BAB III. METODE PENELITIAN

Menjelaskan mengenai langkah-langkah atau prosedur pengambilan dan pengolahan data hasil penelitian.

BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Menyajikan data-data hasil penelitian di laboratorium, analisis data, hasil analisis data dan pembahasannya.

BAB V. PENUTUP

Berisikan kesimpulan dan saran.

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).

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 (Gracia, 1999 dalam Iskandar, 2008). Beberapa tahun belakangan dikemukakan bahwa sedimentasi memiliki peran yang penting dalam transportasi yang dapat mempengaruhi pertumbuhan ekonomi, untuk itu diperlukannya pengendalian sedimentasi.

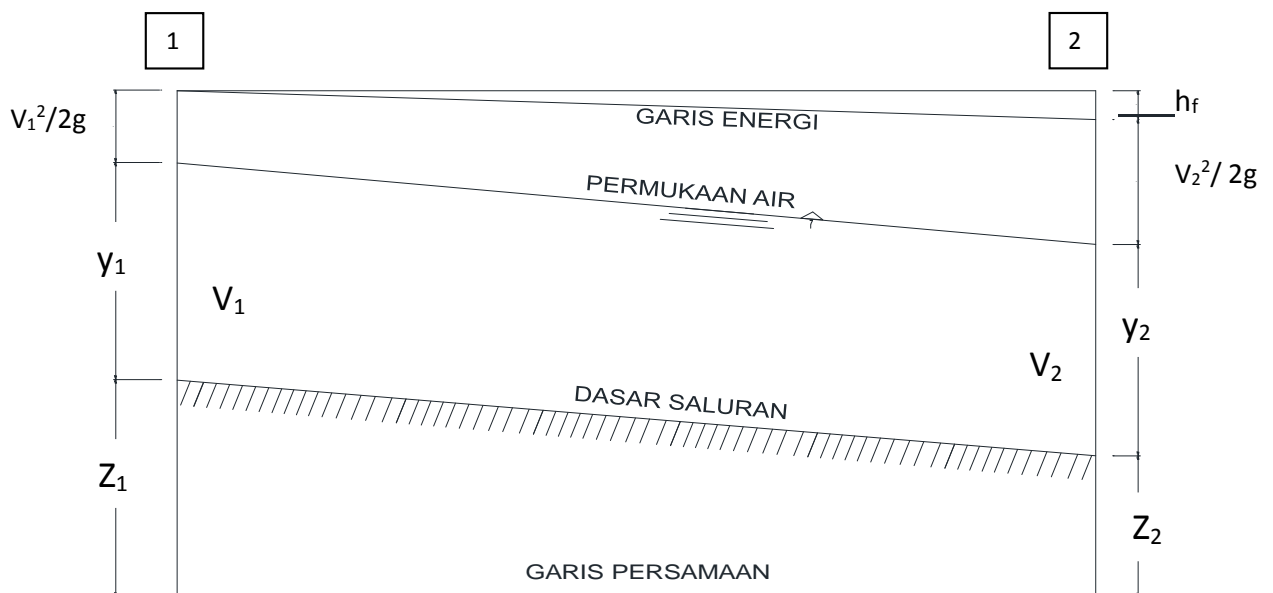
Pengetahuan mengenai angkutan sedimen yang terbawa oleh aliran sungai dalam kaitannya dengan aliran sungai akan mempunyai arti penting bagi kegiatan pengembangan dan manajemen sumber daya air, konservasi tanah dan perencanaan bangunan pengaman sungai. Pengetahuan mengenai sedimen yang melayang terbawa 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.

2.2 Konsep Dasar Aliran Pada Saluran Terbuka

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 2.1 seperti berikut :



Gambar 2.1 Skema aliran pada saluran terbuka (Chow, V.T., 1997)

Pada gambar 2.1 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 $V^2/2g$, 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 dengan h_f .

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 :

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

Dengan :

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

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

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

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

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

Dengan :

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

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

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

untuk menghitung kecepatan rata-rata rumus yang digunakan adalah :

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

2.3. Angkutan Sedimen

2.3.1 Defenisi

Angkutan sedimen dalam arti umum dapat diartikan sebagai pergerakan 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.

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.

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 penggerusan 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.

b. 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.

Tabel 2.1 Kode tekstur struktur tanah

Kelas Struktur Tanah (Ukuran Diameter)	Kode
Granular sangat halus (< 1mm)	1
Granular halus (1 - 2 mm)	2
Granular sedang sampai kasar (2 – 10 mm)	3
Berbentuk blok,blocky,plat,massif.	4

Sumber : Wischmeier dan Smith (1978 dalam Nurul Fitria Sari, 2008)

Tabel 2.2 Kode Permeabilitas Tanah

Kelas Permeabilitas	Kecepatan (cm/jam)	Kode
Sangat lambat	< 0.5	1
Lambat	0,5 – 2,0	2
Lambat sampai sedang	2,0 – 6,3	3
Sedang	6,3 – 12,7	4
Sedang sampai cepat	12,7 – 25,4	5
Cepat	>25,4	6

Sumber : Wischmeier dan Smith (1978 dalam Sari, 2008)

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 bagian sungai dimana secara topografis kemiringannya sangat besar, sehingga kecepatan aliran yang terjadi juga sangat besar, yang mana dengan kecepatan aliran tersebut 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.

Secara garis besar maka faktor-faktor diatas dapat digolongkan kedalam tiga kelompok, yaitu :

1) Energi

Hal ini merupakan kemampuan potensial hujan, limpasan permukaan dan/atau angin untuk menyebabkan erosi. Kemampuan ini disebut dengan “*Erosifitas*”. Hal lain

yang turut berpengaruh pada tenaga dari agen-agen *erosif* ini adalah limpasan permukaan dan angin berturut – turut melalui pengurangan panjang lereng.

2) Kepekaan Tanah (*Erodibilitas*)

Faktor *erodibilitas* ini bergantung pada sifat-sifat fisik-mekanik dan kimia tanah dalam melakukan proses *infiltrasi* air ke dalam tanah dan mengurangi limpasan permukaan. Hal ini juga sangat erat kaitannya dengan faktor karakteristik tanah yang bersangkutan, dimana perbandingan angka pori tanah berbanding lurus dengan proses *infiltrasi*.

3) Proteksi

Bertitik tolak pada faktor yang berhubungan dengan penutupan tanah disekitar area sungai, dimana hal ini memungkinkan perlindungan tanah melalui upaya pengintersepsian hujan dan pengurangan kecepatan limpasan permukaan dan angin.

Untuk mempersempit permasalahan pengangkutan sedimen ini, maka pada bab ini hanya akan menjelaskan masalah pengangkutan sedimen pada saluran terbuka dengan berbagai faktor yang mempengaruhinya.

2.3.2 Problema sedimen pada saluran terbuka

Secara terperinci proses – proses yang berpengaruh pada permodelan saluran

Terbuka adalah:

1. Problema sedimen yang disebabkan proses penggerusan

Penggerusan terjadi apabila kecepatan aliran yang bergerak di atas butiran sedimen mempunyai harga tertinggi sehingga mampu menggerakkan butiran – butiran sedimen.

Adapun problema-problema tersebut adalah sebagai berikut :

a) Degradasi

Degradasi pada saluran terbuka merupakan perubahan elevasi dasar ke arah vertikal secara makro. Maksudnya ialah penurunan dasar saluran secara keseluruhan atau

sebagian akibat terjadinya penggerusan oleh aliran dimana jumlah sedimen yang tergerus dan hanyut lebih besar dari pada jumlah angkutan sedimen yang datang dari *upstream*.

b) Penggerusan setempat (*Local Scouring*)

Penggerusan setempat terjadi karena adanya penambahan kecepatan aliran yang dapat meningkatkan *turbulensi* aliran. Hal ini menyebabkan penggerusan menjadi lebih besar dari jumlah sedimen yang terdapat pada area tersebut.

c) Pelapukan (*Abration*)

Abrasi merupakan proses penggerusan terhadap bangunan air yang diakibatkan oleh sedimen yang diangkut oleh air, baik yang merupakan angkutan sedimen layang maupun angkutan sedimen dasar. Sedimen yang diangkut air ini akan membentuk konstruksi bangunan dan akan merusak konstruksi sedikit demi sedikit.

2. Problem sedimen yang disebabkan proses pengendapan.

Selain dari proses penggerusan, maka proses pengendapan dalam kaitannya dengan masalah angkutan sedimen juga dapat terjadi pada prototype saluran terbuka.

Problema-problema yang ditimbulkan oleh proses pengendapan antara lain:

a. Agradasi

Proses agradasi dapat di definisikan sebagai kenaikan dasar saluran seluruhnya atau sebagian akibat terjadinya endapan oleh karena aliran tidak dapat menghanyutkan lebih banyak sedimen dari tempat agradasi tersebut di bandingkan dengan jumlah sedimen yang terdapat pada *upstream*.

b. Sedimentasi (*Shoaling*)

Sedimentasi dapat didefinisikan sebagai pengendapan yang terjadi pada bagian-bagian tertentu pada saluran dengan kondisi aliran dan dasar saluran yang memungkinkan terjadinya pengendapan tersebut. Prinsip dasar proses

sedimentasi sama dengan proses *agradasi*, hanya pada proses *agradasi* sifatnya menyeluruh pada dasar saluran, sedangkan pada proses sedimentasi bersifat local. Sedimentasi biasanya terjadi pada bagian *downstream*.

2.3.3 Jenis-jenis angkutan sedimen

Berdasarkan pergerakan partikel sedimen yang terdapat di sungai, maupun yang terdapat pada saluran-saluran pengairan, maka angkutan sedimen dapat digolongkan dalam 3 (tiga) bagian yang tergantung pada kecepatan aliran sungai. Ketiga macam angkutan sedimen tersebut adalah sebagai berikut :

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

Proses angkutan ini, terjadi pada suatu kondisi kecepatan aliran yang relative rendah, yang mampu mengerakkan butiran yang semula dalam keadaan diam akan menggelinding dan meluncur di sepanjang dasar saluran.

2. Angkutan Sedimen Loncat (*Saltation Load Transport*)

Pada kecepatan aliran yang lebih tinggi, butiran-butiran sedimen akan membuat loncatan-loncatan pendek meninggalkan dasar sungai, karena gaya dorong yang bekerja terhadap butiran makin besar. Kemudian butiran tersebut kembali ke dasar sungai atau melanjutkan gerakanya dengan membuat loncatan-loncatan yang lebih jauh.

3. Angkutan Sedimen Layang (*Suspended Load Transport*)

Jika kecepatan aliran ditingkatkan lebih besar lagi, maka gerakan loncatan tersebut akan sering terjadi, sehingga apabila butiran tersebut oleh arus utama atau oleh gerakan aliran turbulen kearah permukaan, maka butiran akan tetap bergerak ke dalam arus aliran air untuk selang waktu tertentu yang dapat diamati.

Pada kenyataanya untuk setiap satu satuan waktu yang dapat diamati, kita hanya dapat mengamati adanya angkutan sedimen layang saja. Jadi dalam hal ini, pembagian

angkutan sedimen berdasarkan pergerakan atau mekanisme pengangkutannya, hanya dibedakan atas angkutan sedimen dasar dan angkutan sedimen layang.

Selain berdasarkan pergerakannya atau mekanisme pengangkutannya, maka angkutan sedimen dapat juga dibedakan berdasarkan asalnya atau sumbernya, yaitu sebagai berikut :

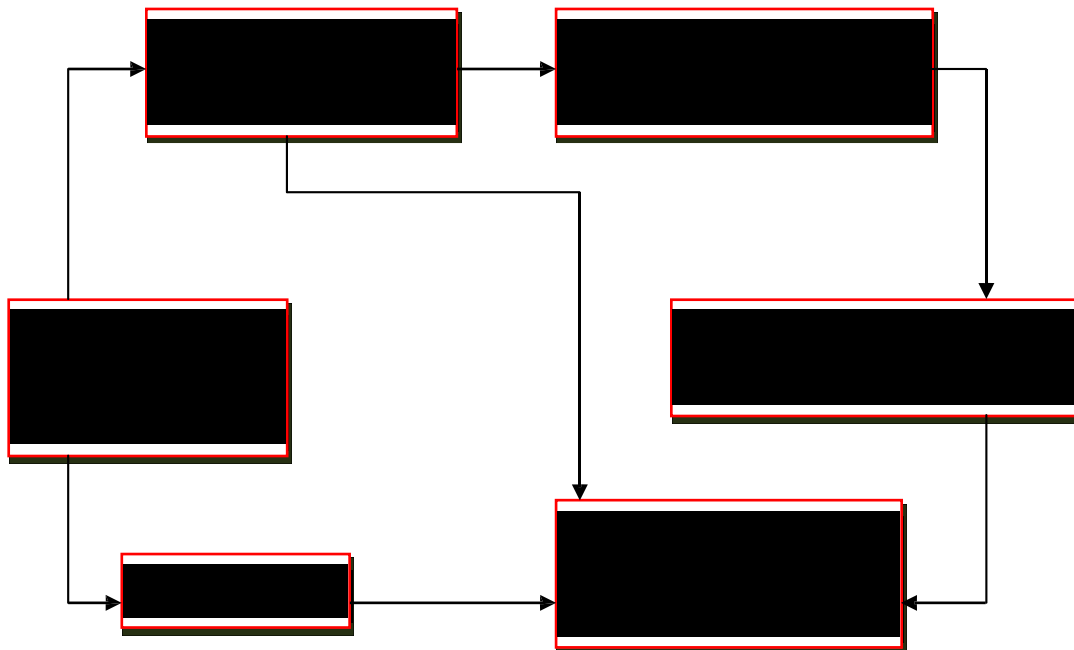
a. Muatan Material Dasar (*Bed Load Material*)

Material-material ini berasal dari saluran sendiri, yaitu terdiri dari muatan sedimen dasar dan muatan sedimen layang.

b. Muatan Bilas (*Wash Load*)

Sumber utama dari muatan bilas ini diperoleh dari hasil pelapukan atas batuan atau tanah daerah pengaliran sungai, yang terbawa oleh aliran permukaan atau angin kedalam sungai. Umumnya angkutan *wash load* ini bergerak sebagai muatan sedimen layang di dalam aliran sungai tersebut.

Secara skematis dan penggolongan angkutan sedimen yang di dasarkan atas pergerakan dan sumbernya dapat di gambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.2 Skema Penggolongan angkutan Sedimen (Samule,E.A.,1994)

2.4. 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 padat bahan dasar saluran tersebut, maka secara bersamaan juga terjadi peningkatan intensitas aliran. Oleh sebab itu, untuk suatu dasar saluran tertentu yang pada mulanya 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.

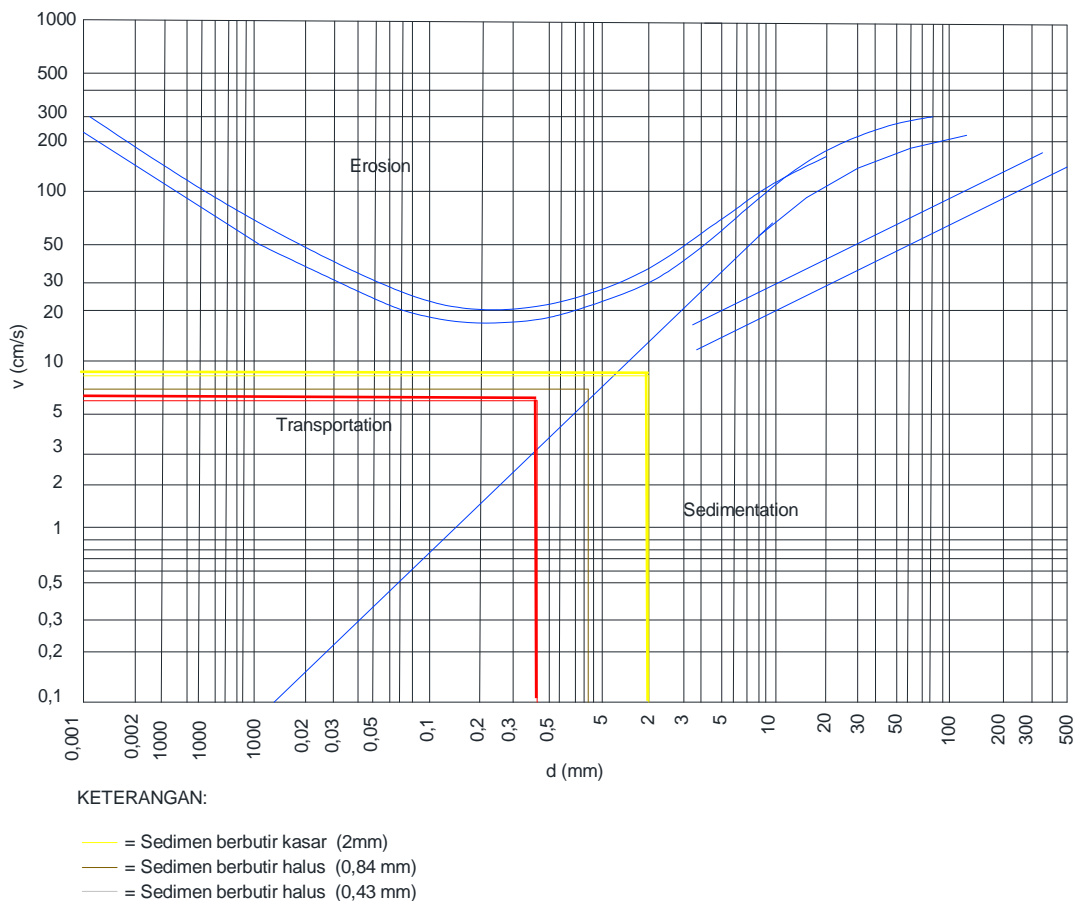
Dalam kondisi normal umumnya gerakan partikel-partikel ini tidak terjadi secara simultan untuk semua partikel dengan ukuran tertentu yang terletak pada lapisan atas. Pada kenyataannya, untuk setiap kondisi hidrolis tertentu, sebagian partikel akan bergerak sedangkan sebagian yang lain tidak bergerak. 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.

Menurut Jaroki (1963), bahwa kecepatan rata-rata lebih besar dari kecepatan di dasar yang mengakibatkan gerakan awal seperti pada persamaan di bawah ini :

$$(u)_{cr} = 1,4 \sqrt{g} \ln \frac{7}{\dots\dots\dots} \dots\dots\dots(8)$$

Kecepatan ini bersatuan m/s dan persamaan ini hanya untuk $D/d > 60$. Kemudian Hjulstrom (1935) memberikan 3 kriteria aliran : Erosi , Transportasi, dan Sedimentasi untuk material lepas dengan ukuran butiran homogeny. Alasanya bahwa kecepatan rata-rata adalah kira-kira 40 persen lebih besar dari kecepatan di dasar untuk kedalaman aliran lebih dari satu meter. Distribusi dari ketiga kriteria aliran di atas dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut:



Gambar 2.3 Kriteria Sedimentasi, Transportasi dan erosi untuk partikel seragam

(Pallu, M. S., 2012)

Setelah melakukan pengambilan data dan mengolah data yang diperoleh maka menurut grafik kriteria Sedimen,Transportasi dan Erosi maka :

Sedimen berbutir kasar (2 mm) masuk dalam kategori Sedimentation, dan Sedimen berbutir halus (0,43 mm) juga masuk dalam kategori Transportation.

Secara detail, penelitian ini tidak akan membahas lebih jauh tentang pergerakan awal sedimen tetapi penulis hanya memfokuskan percobaan dan analisa studi pengangkutan sedimen dasar (*bed load sedimen*).

2.5. Sifat – Sifat Bahan Angkutan Sedimen

Sifat-sifat bahan angkutan sedimen yang perlu diperhatikan dalam hal pergerakan sedimen adalah sebagai berikut :

2.5.1 Ukuran partikel sedimen

Ukuran partikel merupakan hal yang paling penting dalam mengetahui karekteristik dan perilaku sedimen dalam melewati proses transportasi, hanya saja begitu beragamnya ukuran sedimen ini menyebabkan perlunya pengelompokan yang jelas untuk mendapatkan hasil penelitian yang maksimal.

Pada umumnya ukuran butiran dari berbagai partikel sedimen dapat dikelompokan seperti yang tertera dalam table 2.3 berikut :

Tabel 2.3 Pengelompokan ukuran butiran sedimen dari berbagai partikel

Milimeters		Micrometers	Inches	Tyler	U.S
				Standar's	Standar's Class
4000-2000			160-80		Very Large boulders
2000-1000			40-20		Large boulders
1000-500			20-10		Medium boulder
500-250			10-5		Small boulders
250-130			5-2.5		Large cabbles
130-64			2.5-1.3		Small cabbles
64-32			1.3-0.6		Very coarse gravel
32-16			0.6-0.3	2-1/2	Coarse gravel
16-8			0.3-0.16	5-5	Medium gravel
8-4			0.16-0.008	9-10	Fine Gravel
4-2				16-18	Very fine gravel
2-1	2.00-1.00	2000-1000		32-35	Very coarse sand
1-1/2	1.00-0.50	1000-500		60-60	Coars Sand
1/2-1/4	0.50-0.25	500-250		115-120	Medium sand
1/4-1/8	0.25-0.125	250-125		250-230	Fine sand
1/8-1/16	0.125-0.062	125-62			Very fine sand
1/16-1/32	0.062-0.031	62-31			Coarse silt
1/32-1/64	0.031-0.016	31-16			Medium silt
1/64-1/128	0.016-0.008	16-8			Very fine silt
1/128-1/256	0.008-0.004	8-4			
1/259-1/512	0.004-0.0020	4-2			Coarse clay
1/512-1/1024	0.002-0.001	2-1			Medium clay
1/1024-1/2048	0.001-0.0005	1-0.5			Fine clay
1/2048-1/4096	0.0005-0.00024	0.5-0.24			Very fine clay

Sumber : Lane et al., 1974 dalam diktat, Sediment Transport oleh Pallu, M. S., 2002

Pengukuran ukuran butiran tergantung pada jenis bongkahan, untuk berangkal pengukuran dilakukan secara langsung, untuk kerikil dan pasir dilakukan dengan analisa saringan sedangkan untuk lanau dan lempung dilakukan dengan analisa sedimen.

Klasifikasi jenis tanah berdasarkan ukuran butir dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut :

Tabel 2.4 Klasifikasi jenis tanah berdasarkan ukuran butir

NO	ORGANISASI	Ukuran butir (mm)			
		Kerikil (Gravel)	Pasir (Sand)	Lanau (Silt)	Lempung (Clay)
1	MIT, Massachusetts Institute of technology	>2	0,06 – 2	0,002-0,06	<0,002
2	USDA, United State Departement of Agriculture	>2	0,05 – 2	0,002-0,5	<0,002
3	AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials	2 – 76,2	0,075 – 2	0,002-0,75	<0,002
4	USCS, Unifed Soils Classification System	4,75 –76,2	0,075 – 4,75	Fines(<0,075)	

Sumber : Sistem Klasifikasi AASHTO dan USCS, 1929

2.5.2 Bentuk Partikel Sedimen

Begitu beragamnya ukuran butiran yang lolos maupun yang tertahan pada proses penyaringan mengharuskan perlunya pengklasifikasikan ukuran butiran baik pada agregat kasar maupun agregat halus.

2.6. Angkutan Sedimen Dasar (*bed load sedimen*)

2.6.1 Mekanisme pengangkutan

Material sedimen dasar bergerak karena adanya kecepatan dan aliran dengan cara menggelinding, meluncur dan meloncat di sepanjang dasar saluran disebut muatan dasar (*bed load*). Muatan tersebut berhubungan dengan keadaan aliran di dasar sungai yang berupa tegangan geser dasar (*bed shear stress*). Terjadinya angkutan dasar disebabkan oleh pergerakan sedimen dan pengaliran di dasar sungai yang dipengaruhi oleh tegangan dasar yang terdiri dari kekasaran dan formasi dasar.

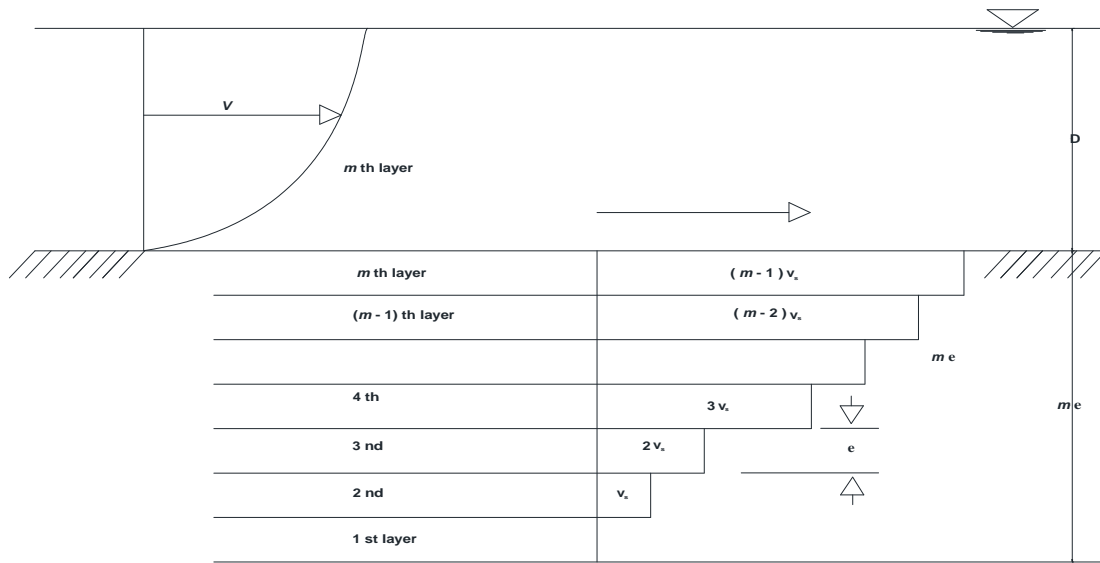
Fenomena *bed load* yang dikombinasikan dengan formasi dasar (*ripples, dunes dan antidunes*). Parameter yang berpengaruh pada pergerakan sedimen adalah ukuran dan bentuk sedimen, berat jenis sedimen (γ_s), gradasi butiran, sifat kohesi, konfigurasi dasar, dan posisi sedimen pada penampang saluran. Parameter hidrolis yang berpengaruh adalah slope dasar (S), debit aliran (Q), kedalaman (h), regim aliran, kecepatan rata-rata dan distribusi kecepatan.

2.6.2 Persamaan *bed load*

Secara umum, rumus yang dikembangkan selalu didasarkan pada suatu besaran yang menentukan keadaan kritis pada saat sebelum terjadi pengangkutan sedimen, yang merupakan fungsi dari sifat pengaliran dan sifat butiran. Sifat butiran sedimen ini sangat bervariasi baik tentang ukuran, bentuk, rapat massa, maupun sifat kohesinya. Dengan demikian rumus angkutan sedimen yang dikembangkan oleh para ahli hidrolis aliran juga menggunakan parameter besaran yang berlainan, seperti : hubungan $\tau_0 - \tau_c$ (tegangan kritis), $Q_0 - Q_c$ (Debit kritis), dan $U_0 - U_c$ (kecepatan kritis). Adapun perhitungan *bed load transport* berdasarkan pendekatan dengan berbagai parameter diuraikan sebagai berikut :

1. Pendekatan dengan parameter gaya geser

Menurut DuBoys (1879), dalam hipotesanya tentang besarnya pengangkutan endapan sedimen, yaitu bahwa dari suatu aliran air dapat dianggap sebagai suatu rangkaian lapisan-lapisan yang saling menutupi dengan kecepatan yang berbeda secara linear dari nol di bawah permukaan, sampai dengan nilai maksimum pada pertemuan antara fluida dan dasar yang padat.



Gambar 2.4 Sketsa model bed load menurut DuBoys (Pallu, M. S., 2012)

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

Dengan :

τ = tegangan geser, C_f = koefisien gesek

m = jumlah total lapisan

ϵ = ketebalan lapisan

D = kedalaman air

S = kemiringan saluran

γ_s dan γ = berat spesifik sedimen dan air

jika variasi kecepatan linear antara lapisan pertama sampai lapisan ke m, total debit dengan volume per unit kedalaman saluran adalah :

$$q_b = \varepsilon V_s \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{2} \right) \dots \dots \dots (10)$$

dengan V_s = kecepatan lapisan kedua (lihat gambar 2.5). Pada gerak yang baru,

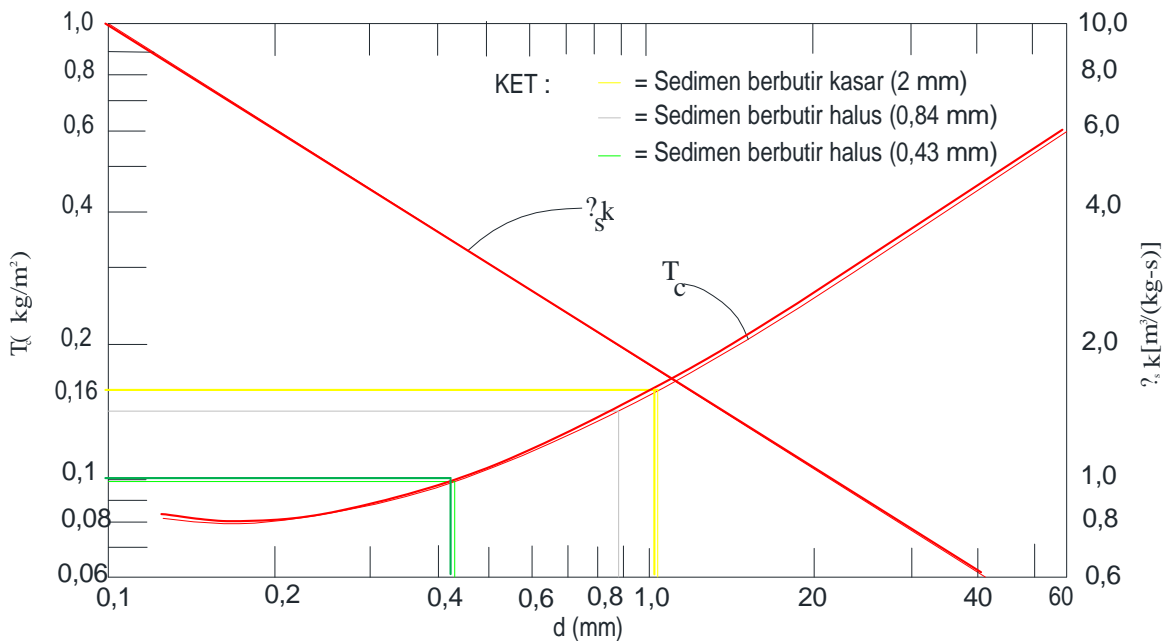
$m = 1$, persamaan (9) menjadi :

$$\tau_c = C_f m \varepsilon (\gamma_s - \gamma) \dots \dots \dots (11) \text{ dan}$$

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

dimana :

τ_c = gaya tarik kritis sepanjang dasar.



Gambar 2.5 Parameter Sedimen dan gaya tarik kritis untuk persamaan *bed load* menurut DuBoys(Pallu, M. S., 2012)

Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa sedimen berbutir kasar (2 mm) memiliki gaya tarik kritis (τ_c) sebesar 0,16 kg/m², sedangkan sedimen berbutir halus (0,84 mm) memiliki gaya tarik kritis sebesar 0,14 kg/m² dan sedimen berbutir halus (0,43 mm) memiliki gaya tarik kritis sebesar 0,09 kg/m².

Dari persamaan (10) dan (11) :

$$q_b = \frac{\varepsilon}{2\tau_c^2} \tau (\tau - \tau_c) \dots\dots\dots(13)$$

$$= K \tau (\tau - \tau_c)$$

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

$$K = \frac{0.173}{d^{3/4}} = (ft^3/s) / f_t \dots\dots\dots(14)$$

Nilai k dalam persamaan (14) dalam satuan inggris, kecuali nilai d dalam mm. jadi persamaan DuBoys menjadi :

$$q_b = \frac{0.173}{d^{3/4}} \tau (\tau - \tau_c) = (ft^3/s) / f_t \dots\dots\dots (15)$$

Hubungan antara τ_c , K dan d diperlihatkan pada gambar 2.8. nilai τ_c dapat ditentukan dari diagram Shields.

Persamaan DuBoys adalah persamaan klasik yang telah diteliti oleh para ahli yang berbeda dan menghasilkan kesimpulan bahwa rumus DuBoys dihasilkan dari percobaan yang dilakukan pada flume yang kecil dengan range yang kecil, sehingga aplikasinya sangat cocok untuk penelitian dengan studi prototype.

Selain pendekatan DuBoys, rumus yang sering dipakai pada parameter gaya geser ini adalah pendekatan Shields. Shields (1936) dalam penelitiannya mengenai pergerakan awal dari sedimen dengan mengukur kondisi aliran dengan *sedimen transport* yang lebih besar dari nol dan kemudian memberikan hubungan terhadap penentuan kondisi aliran yang berhubungan pada gerak yang baru mulai.

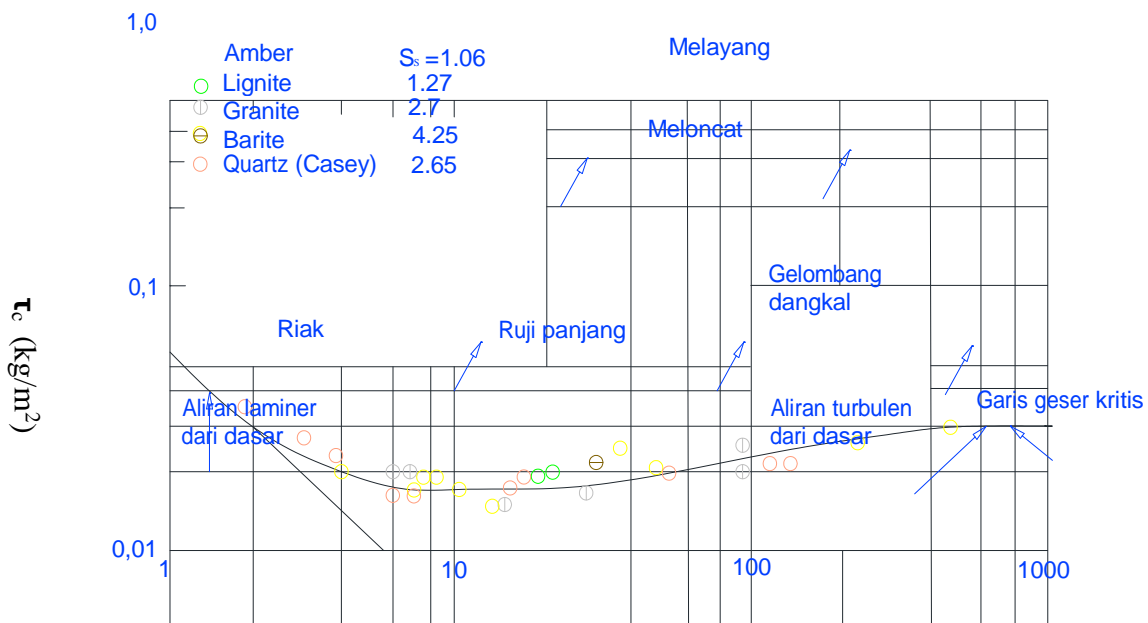
Kemudian dari penelitian ini Shields membuat pendekatan empirik untuk *bed load*, yaitu :

$$\frac{q}{q_c} = 10 \frac{\tau - \tau_c}{(\gamma_s - \gamma) d} \dots\dots\dots(16)$$

Dengan :

- q_b dan γ_s = debit bed load dan air perunit lebar saluran
- τ = γDS
- d = diameter partikel sedimen
- γ_s = berat spesifik sedimen air

Persamaan (16) homogen dalam dimensi dan dapat digunakan untuk setiap satuan tegangan geser kritis τ_c dan dapat ditunjukkan dari diagram Shields yang diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 2.6. Diagram Shields (Dake, M. K Jones., 1985)

2. Pendekatan dengan parameter slope energi

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

$$\frac{0,4q^{2/3}}{d} = \frac{s}{\rho} q^{2/3} - 17 \dots\dots\dots(17)$$

Dengan :

- q_b = debit bed load (kg/s) /m
- q = debit air, dalam (kg/s)/m
- S = kemiringan, dan
- d = ukuran partikel (dalam meter)

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.

3. Pendekatan dengan parameter debit

Schoklitsch adalah ilmuan yang pertama kali menggunakan parameter debit (*discharge*) air untuk menentukan bed load. 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 :

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

dengan :

- q_b = debit bed load (kg/s)/m
- d = ukuran partikel (dalam meter)

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 Specific Gravity = 2,65 dapat diketahui sbb :

$$q_c = \frac{0.00001944}{s^{4/3}} \dots\dots\dots(19)$$

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

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

Untuk sedimen dengan Specific Gravity = 2,65 debit kritis dalam persamaan (20) menjadi :

$$q_c = \frac{0,6^{3/2}}{s^{7/6}} \dots\dots\dots(21)$$

Dengan d = ukuran partikel sedimen (m).

2.7. Angkutan Sedimen Layang (*Suspended load sedimen*)

2.7.1 Mekanisme pengangkutan

Suspended load adalah sedimen yang didukung oleh komponen yang cenderung ke atas dari suatu aliran turbulen dan tetap dalam keadaan melayang selama waktu tertentu. Pada sungai – sungai alam, sedimen terangkut sebagai sedimen melayang (suspended load) bab ini memperkenalkan beberapa konsep formula dasar untuk angkutan sedimen melayang (suspended load transport).

2.7.2 Persamaan *suspended load*

Besarnya suspended load dapat didefinisikan secara matematis sebagai berikut :

$$q_{sv} = \int \bar{u} \bar{c} dy \dots\dots\dots(22)$$

$$q_{sw} = \gamma_s \int \bar{u} \bar{c} dy \dots\dots\dots(23)$$

Dimana :

- q_{sv} dan q_{sw} = debit angkutan sedimen melayang dalam volume dan berat
- \bar{u} dan \bar{c} = kecepatan dan konsentrasi sedimen rata-rata dalam volume pada jarak y di atas dasar
- α = ketebalan angkutan sedimen dasar
- D = kedalaman air
- γ_s = berat jenis sedimen

Adapun beberapa teori persamaan yang digunakan dalam perhitungan *suspended load transport* berdasarkan pendekatan dengan berbagai parameter diuraikan sebagai berikut :

2.7.3 Teori perubahan dalam kondisi seimbang

1. Persamaan Rouse

Di dalam kondisi seimbang tetap, gerakan ke bawah sedimen akibat kecepatan jatuh harus diseimbangkan oleh gerakan ke atas sedimen yang diakibatkan fluktuasi turbulen, yakni

$$\omega + \varepsilon_s = 0 \dots\dots\dots(24)$$

Dimana :

- ε_s = koefisien difusi momentum untuk sedimen, yang fungsi dari y
- ω = kecepatan jatuh partikel sedimen

untuk aliran turbulen, tegangan geser turbulen dapat diketahui sebagai berikut

$$\tau_y = \varepsilon_m \rho \frac{du}{dy} \dots\dots\dots(25)$$

Dimana :

- ε_m = viskositas kinematik air atau koefisien difusi momen untuk air
- ρ = density air

Koefisien difusi dapat diasumsikan secara umum sebagai berikut

$$\varepsilon_s = \beta \varepsilon_m \quad \dots\dots\dots(26)$$

Dimana : β = suatu faktor proporsional

Untuk sedimen halus dalam keadaan suspense, nilai itu dapat diasumsikan sebagai $\beta = 1$, tanpa menimbulkan kesalahan yang berarti. Persamaan 24 dapat juga ditulis sebagai berikut

$$-\frac{dC}{dy} + \frac{\omega}{\varepsilon} C = 0 \quad \dots\dots\dots(27)$$

Integrasi persamaan 27 menghasilkan

$$C = C_a \exp \left(-\omega \int \frac{dy}{\varepsilon_s} \right) \quad \dots\dots\dots(28)$$

Dimana C dan C_a = masing-masing konsentrasi sedimen oleh berat pada jarak y dan a diatas dasar.

Tegangan geser pada jarak y di atas dasar adalah

$$\tau_y = \gamma S (D-y) = \tau (1 - \frac{y}{D}) \quad \dots\dots\dots(29)$$

Dimana :

τ dan τ_y = tegangan geser pada dasar saluran dan pada jarak y di atas dasar saluran

S = kemiringan saluran

Asumsikan bahwa distribusi kecepatan dari Prandtl-von Karman adalah benar, maka

$$u = \frac{U_*}{K} \ln \frac{y}{y_0} \quad \dots\dots\dots(30)$$

Dimana :

u = kecepatan local pada jarak y di atas dasar saluran

U_* = kecepatan geser

K = koefisien Prandtl-von Karman (= 0.4 untuk ir jernih)

Dari persamaan (25),(29) dan (30),

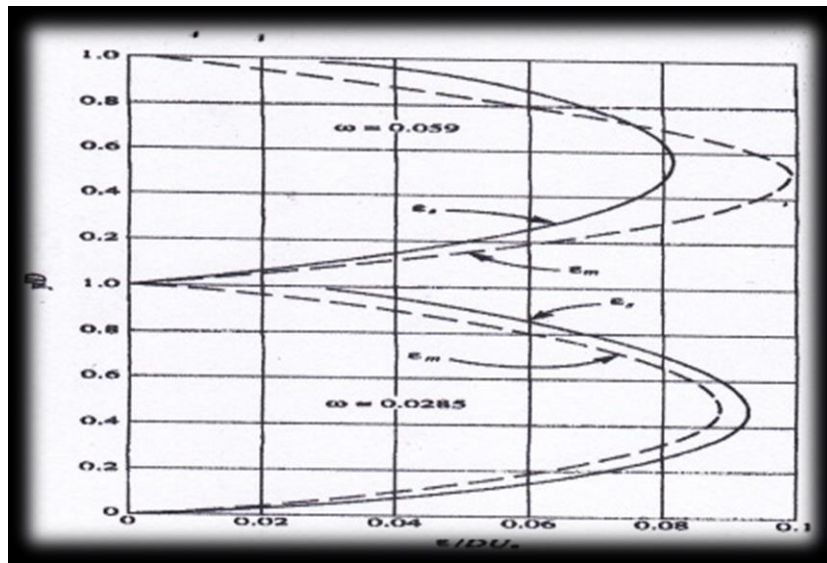
$$\varepsilon_m = kU_* - (D-y) \dots\dots\dots(31)$$

dan

$$\varepsilon_s = \beta kU_* - (D - y) \dots\dots\dots(32)$$

persamaan 31 menunjukkan bahwa $\varepsilon_m = 0$ pada $y=0$ dan $y = D$. nilai maximum ε_m terjadi pada $y=\frac{1}{2}D$. Hasil experiment untuk variasi dari ε_m dan ε_s

diperlihatkan pada gambar 2.7 dibawah ini :



Gambar 2.7 Nilai percobaan sedimen dan koefisien difusi momentum fluida (Vanoni)

Dalam mensubstitusi persamaan (32) ke persamaan (27) dan mengintegral dari α ke y , maka menghasilkan persamaan sebagai berikut,

$$\int \dots = - \int \dots \omega \dots\dots\dots(33)$$

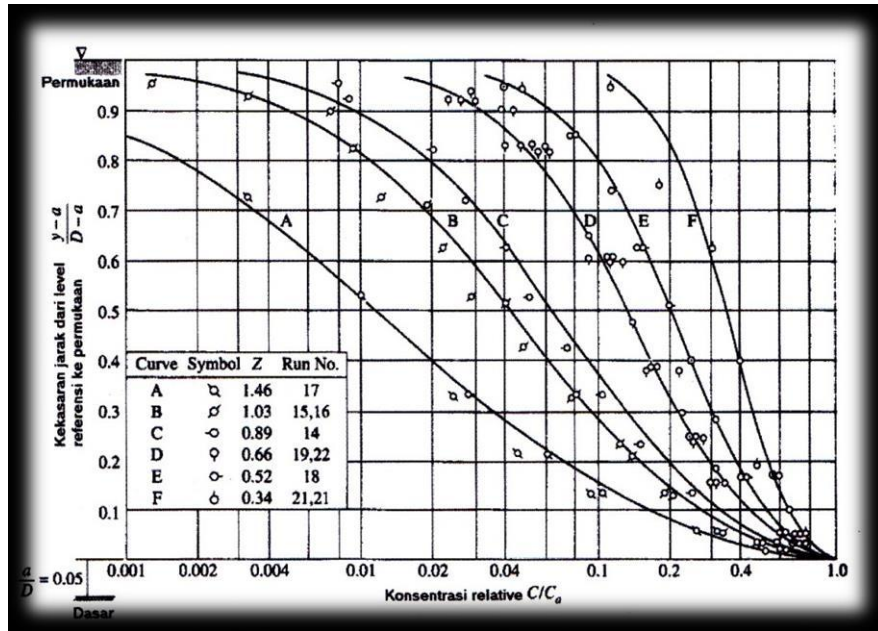
Jika $Z = w/kU_*$ dan asumsikan $\beta = 1$, maka persamaan (33) menjadi

$$\begin{aligned} \ln \frac{Z}{\alpha} &= - \int \dots y \\ &= \ln \left(\dots \right) \end{aligned}$$

Atau

$$\frac{Z}{\alpha} = \left(\dots \right) \dots\dots\dots(34)$$

Persamaan (34) dikenal sebagai persamaan rouse (1973). Suatu perbandingan antara distribusi sedimen vertical dan persamaan Rouse yang diukur oleh Vanoni (1946) yang diperlihatkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Distribusi sedimen malayang: Perbandingan data percobaan dengan Persamaan Rouse (Vanoni, 1946)

2. Pengaruh suspended load terhadap Z, k, dan distribusi kecepatan

Pada suatu turunan dari persamaan (34) bahwa $\beta = 1$. Hasilnya diperlihatkan pada gambar 2.9 yang mengindikasikan bahwa untuk partikel yang halus, nilai $\epsilon_m \approx \epsilon_s$ dan $\beta = 1$. Sedangkan, untuk partikel kasar, nilai $\epsilon_s < \epsilon_m$ dan $\beta < 1$. Jadi persamaan (34) harus dimodifikasi untuk kasus yang lebih umum, seperti

$$\frac{Z_1}{Z} = \left(\frac{\epsilon_s}{\epsilon_m} \right)^{1/\beta} \dots\dots\dots(35)$$

Dimana : $Z_1 = Z/\beta$.

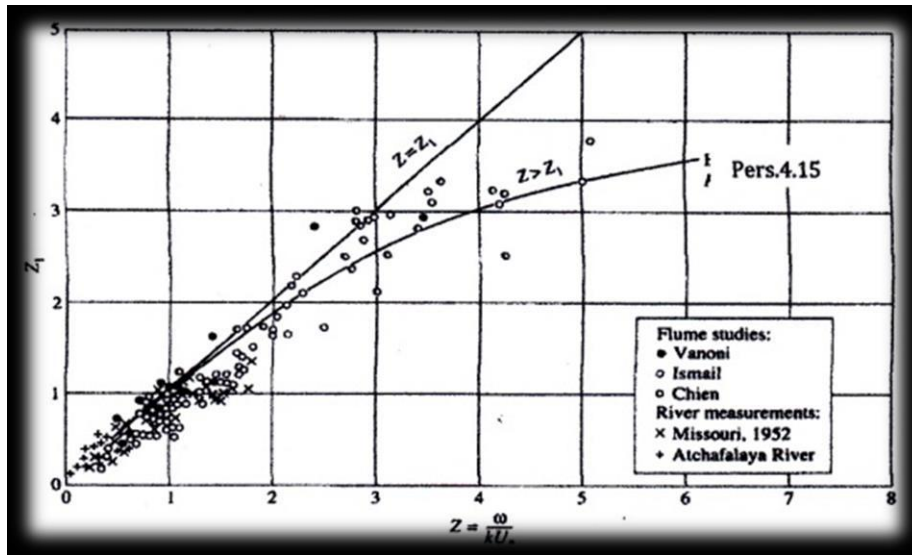
Chien (1954) mempelajari hubungan antara Z dan Z_1 , dan hasilnya diperlihatkan pada gambar 2.9, sebagai

$$Z_1 = \frac{L^2}{-L^2 Z^2/\pi + (\frac{2}{\pi})^2 L \int_0^Z (\frac{2}{\pi})^{1/2 LZ} - 2/2} \dots\dots\dots(36)$$

Dimana :

$$X = \ln y \text{ dan } L = 1 + Rk$$

Kurva yang paling tepat pada Gambar 2.9 adalah untuk $Rk = 0.3$



Gambar 2.9 hubungan antara Z dan Z_1 (Pallu, M. S., 2012)

Pada aliran saluran terbuka tanpa sedimen, koefisien von Kerman, $k = 0.4$. aliran dengan adanya sedimen, umumnya nilai k berkurang dengan meningkatnya angkutan sedimen melayang. Nilai k dapat ditentukan dari distribusi kecepatan semi logaritma dengan $k = 2.3 U^*J$, dimana J adalah kemiringan profil kecepatan semi logaritma $d(\log y) / du$.

Einstein dan Chien (1954) menjelaskan pengurangan ini dengan memperhatikan besarnya energy akibat gesekan yang terjadi untuk mendukung sedimen melayang per satuan berat air dan persatuan waktu.

$$\sum \frac{\omega}{S} \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \dots\dots\dots(37)$$

Dimana :

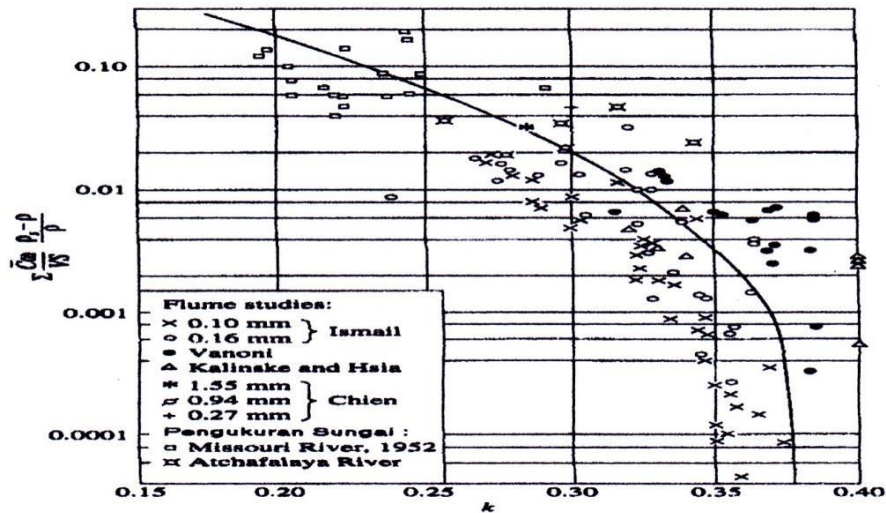
$\bar{\omega}$ = konsentrasi rata-rata oleh berat dari ukuran butir

ω = kecepatan jatuh sedimen

V = kecepatan aliran rata-rata

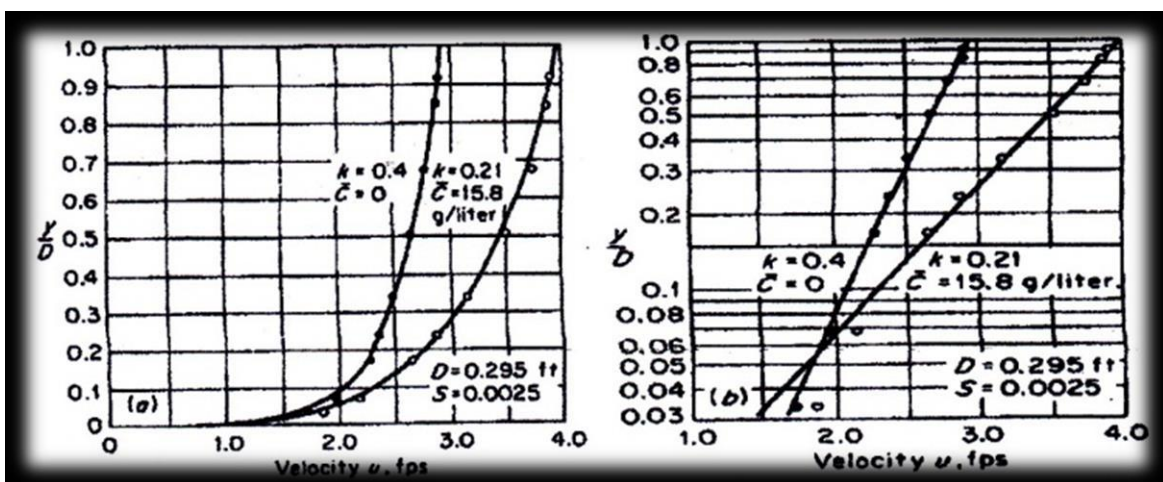
S = kemiringan energy

ρ dan ρ_s = density sedimen dan air. Gambar 2.4 memperlihatkan pengaruh sedimen melayang terhadap nilai k .



Gambar 2.10 pengaruh beban melayang pada nilai k (Einstein dan Chien, 1954)

Pengaruh perubahan k terhadap distribusi kecepatan vertical diperlihatkan pada gambar 2.11. Ringkasan pengaruh beban melayang terhadap nilai k dan distribusi kecepatan dijelaskan oleh Graf (1971).



Gambar 2.11 Penampang kecepatan untuk; (a) aliran air jernih dan (b) sedimen

2.7.4 Formula suspended load

1. Pendekatan Lane dan Kalinske

Lane dan Kalinske mengasumsikan bahwa ϵ_s dan ϵ_m dan $\beta = 1$, maka persamaan (32) menjadi

$$= - (- y) \dots\dots\dots (38)$$

*

Nilai rata-rata ϵ_s sepanjang vertical adalah

$$\frac{D}{2} \int_0^D \epsilon_s = k \int_0^D (y - y^2) y \dots\dots\dots (39)$$

Untuk $k = 0.4$

$$= \frac{1}{15} * \dots\dots\dots (40)$$

Dengan memasukkan persamaan (40) ke dalam persamaan (28), maka menghasilkan

$$C = \exp \left[-\frac{15\omega}{*} \left(\frac{-}{*} \right) \right] \dots\dots\dots (41)$$

Dimana :

C dan C_α = konsentrasi sedimen melayang pada jarak y dan α di atas dasar

ω = kecepatan jatuh sedimen untuk d_{50}

Persamaan (41) dapat di integrasikan melalui kedalaman aliran untuk menentukan konsentrasi suspended load rata-rata pada $y = \alpha$

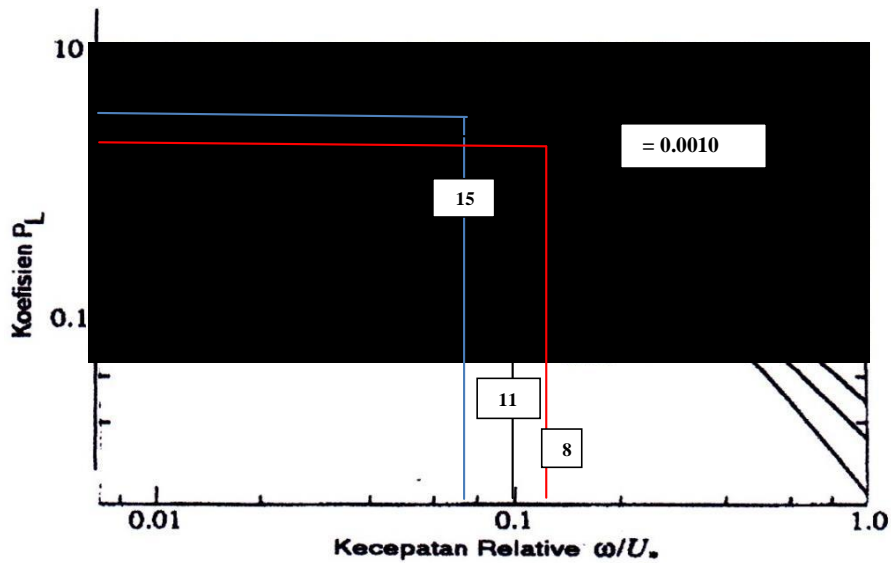
Dijelaskan P_L adalah

$P_L = \frac{P}{C_\alpha}$ = konsentrasi sedimen rata-rata pada kedalaman terintegrasi. Maka debit (42)

suspended load oleh berat dapat dihitung sebagai berikut:

$$q = q P_L \exp \left(\frac{15\omega}{*} \right) \dots\dots\dots (43)$$

Hubungan antara P_L dan kecepatan jatuh relative ω/U dalam satuan (Inggris) diperlihatkan pada Gambar 2.12



Gambar 2.12 Hubungan antara PL dengan ω/U_* (Pallu, M. S., 2012)

Pada persamaan (43), C_α adalah konsentrasi sedimen yang didapatkan dari volume sedimen dibagi dengan volume total (volume air + volume sedimen) dikalikan 100%.

2. Pendekatan Einstein

Einstein (1950) mengasumsikan bahwa $\beta = 1$ dan $k = 0.4$. dengan menggantikan U_* dengan U'^* , kecepatan geser diakibatkan kekasaran butir, memberikan persamaan;

$$Z_1 = Z = \frac{\omega}{0.4 U'^*} \dots\dots\dots (44)$$

Kecepatan dapat dinyatakan sebagai berikut

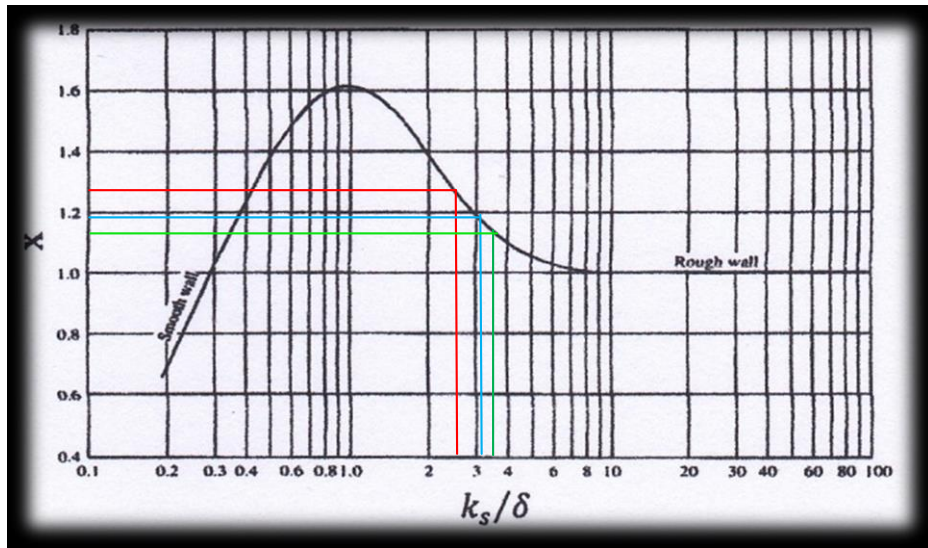
$$U'^* = 5.75 L g \left(\frac{30.2}{\Delta} \right) \dots\dots\dots (45)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (34) dan (45) ke dalam persamaan dan menyatakan C_α konsentrasi oleh berat dan menghasilkan;

$$q = \int \left(\frac{\omega}{\Delta} \right) 5.75 U'^* g \left(\frac{30.2}{\Delta} \right) y \dots\dots\dots (46)$$

(

Dimana $\Delta = k_s / x = d_{65} / x$ dan $x = \alpha$, suatu faktor koreksi dari Einstein (grafik k_s / x vs x pada gambar 2.13).



Gambar 2.13 Faktor koreksi dalam distribusi kecepatan (Pallu, M. S., 2012)

Dengan mengganti α dengan $E = \alpha / D$ dan y dengan $y' = y/D$, maka

$$\begin{aligned}
 q &= \int_0^1 u \quad y^1 \\
 &= \frac{1}{\rho} \left(\frac{\rho}{1-\rho} \right) 5.75 \int_0^1 \left(\frac{1-\rho}{\Delta} \right) \log \left(\frac{30.2}{\Delta} \right) y \\
 &= 5.75 \frac{1}{\rho} \left(\frac{\rho}{1-\rho} \right) \left[\frac{g}{30.2} \int_0^1 \left(\frac{1-\rho}{\Delta} \right) y + \right. \\
 &0.434 \int_0^1 \left(\frac{1-\rho}{\Delta} \right) y \ln y] \dots (47)
 \end{aligned}$$

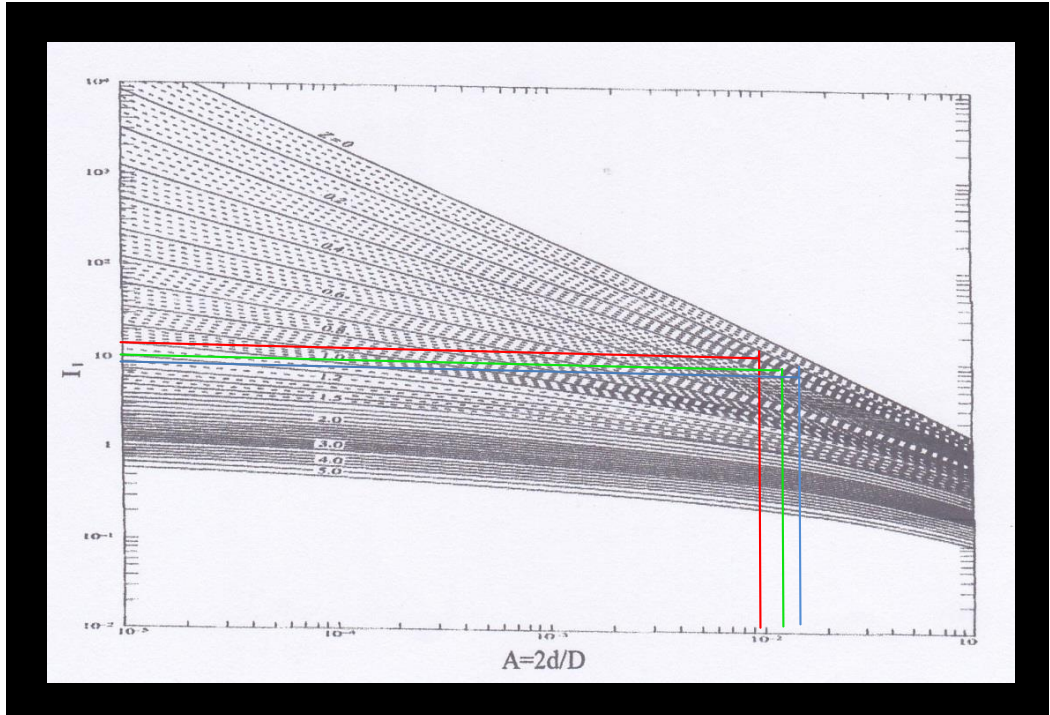
Karena hal ini tidak mungkin mengintegrasikan persamaan (47), Einstein (1950) menulis kembali sebagai

$$q = 11.6 \frac{1}{\rho} \left(\frac{\rho}{1-\rho} \right) u \left[2.303 \left(g \frac{30.2}{\Delta} \right) I_1 + I_2 \right] \dots (48)$$

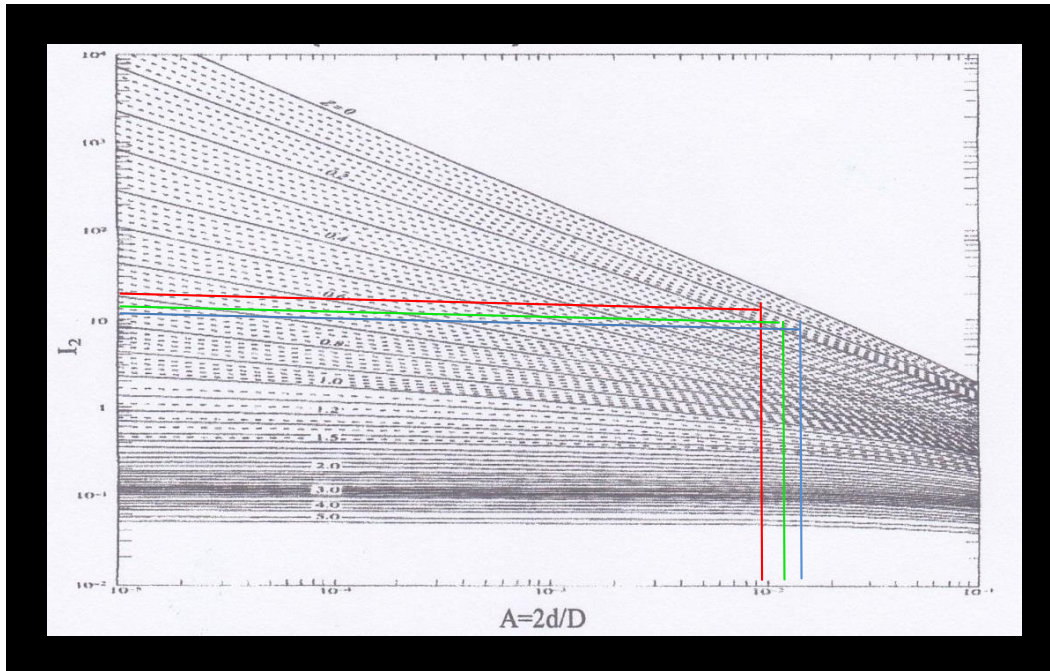
Dan mengintegrasikan secara numeric I_1 dan I_2 untuk variasi nilai E dan Z , dimana

$$\begin{aligned}
 I_1 &= 0.216 \frac{1}{(1-\rho)^{-1}} \int_0^1 \left(\frac{1-\rho}{\Delta} \right) \ln y \quad y \\
 I_2 &= 0.216 \frac{1}{(1-\rho)^Z} \int_0^1 \left(\frac{1-\rho}{\Delta} \right) \ln y \quad y \dots (49)
 \end{aligned}$$

Nilai I_1 dan I_2 dalam A untuk nilai Z dapat diperoleh dari gambar 2.14 dan 2.15.



Gambar 2.14 Fungsi I_1 dengan A untuk nilai berbeda dari Z



Gambar 2.15 Fungsi I_2 dengan A untuk nilai berbeda dari Z

Einstein (1950) mengasumsikan bahwa $\alpha = 2d$, dimana d adalah menggambarkan ukuran butir material dasar dan konsentrasi pada $y = \alpha$ adalah

$$= \frac{5^i q}{B} \dots\dots\dots (50)$$

Dimana;

i_{bw}, q_{bw} = debit angkutan sedimen dasar oleh berat ukuran i_{bw} .

U_B = kecepatan rata-rata sedimen dasar yang diasumsikan oleh Einstein menjadi proporsional U^*

A_5 = faktor koreksi (=1/11.6)

Dengan mengasumsi persamaan (50) menjadi

$$= \frac{1}{11.6} \frac{i}{q_*'} \dots\dots\dots (51)$$

Persamaan untuk debit suspended load untuk setiap fraksi $i_{sw}q_{bw}$ dapat diturunkan dari persamaan (48) dan (51), seperti

$$q = q_*' [2.303 \left(\frac{g}{\Delta} \right)^{30.2} I_1 + I_2] \dots\dots\dots (52)$$

Atau

$$q = 11.6 \frac{i}{q_*'} \left\{ [2.303 \left(\frac{g}{\Delta} \right)^{30.2} I_1 + I_2] \right\} \dots\dots\dots (53)$$

Dimana

$$P = \frac{30.2}{2.303 \frac{g}{\Delta}} \dots\dots\dots (54)$$

Dimana C_α = konsentrasi dengan berat kering pada $y = \alpha$

Persamaan (52) menghubungkan angkutan bed-load ke angkutan suspended load untuk semua fraksi ukuran yang mana fungsi sedimen dasar ada.

Persamaan (54) adalah homogeny dimensi dan dapat diselesaikan dengan menggunakan suatu system satuan secara konsisten. Satuan q_{sw} adalah berat per satuan waktu dan lebar.

3. Pendekatan Brooks

Brooks (1963) berpendapat bahwa distribusi kecepatan secara logaritma adalah dapat dipakai dan konsentrasi sedimen vertical mengikuti persamaan (35), memberikan hubungan menyerupai dengan persamaan Einstein (1950).

$$q = q \left[1 + \frac{*}{k} \int^1 \left(\frac{1-y}{k} \right)^{-1} y + \frac{*}{k} \int^1 \left(\frac{1-y}{k} \right)^{-1} y \right] \dots\dots\dots(55)$$

Dimana;

q = debit air per satuan lebar

= konsentrasi sedimen pada $y = \frac{1}{2}$

Persamaan 55 juga dapat dinyatakan sebagai fungsi angkutan T_B :

$$\frac{q_s}{m} = \left(\frac{*}{k}, Z_1, \right) \dots\dots\dots (56)$$

Ambillah sebuah batas integral yang rendah pada $u = 0$, dan

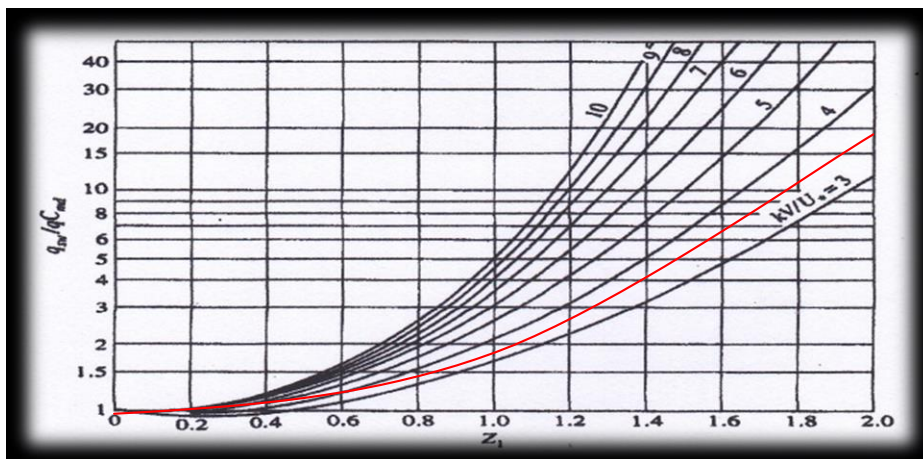
$$= -\left(\frac{k}{*}\right)^{-1} \dots\dots\dots (57)$$

Persamaan (56) dikurangi menjadi

$$\frac{q_s}{q} = \left(\frac{*}{k}, Z_1 \right) \dots\dots\dots (58)$$

Dimana q_{sw} = berat sedimen persatuan waktu dan lebar

Aplikasi dari hubungan ini diilustrasikan pada gambar 2.16



Gambar 2.16 Fungsi angkutan beban melayang sedimen dari Brook

4. Pendekatan Chang, Simons, dan Richardson

Chang, Simons, dan Richardson (1965) berpendapat bahwa persamaan (38) adalah benar dan menulis kembali persamaan sebagai :

$$= \xi_* (1 - \xi)^{1/2} \dots\dots\dots (59)$$

Dimana

$$\xi = y/D \text{ dan}$$

$$_* = (gDS)^{1/2}$$

Masukkan persamaan (59) ke dalam persamaan (28). dan menghasilkan

$$\frac{u}{\alpha} = A_1 \left[\frac{\xi_\alpha^{1/2}}{1 - (1 - \xi_\alpha)^{1/2}} \right]^2 \dots\dots\dots (60)$$

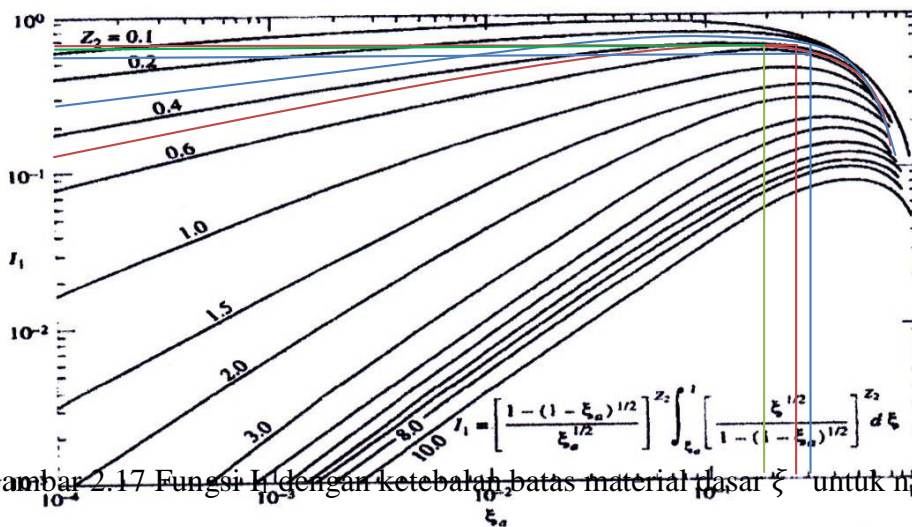
Dengan

$$A_1 = \left[\frac{1 - (1 - \xi_\alpha)^{1/2}}{(\xi_\alpha)^{1/2}} \right]^{1/2}, Z_2 = \frac{2\omega}{*_k} \xi = -$$

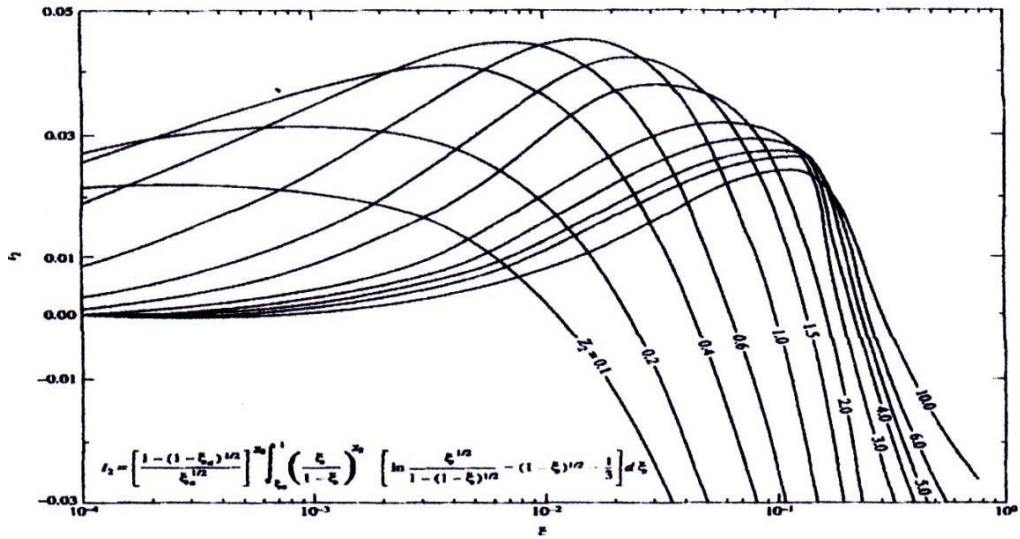
Kemudian debit sedimen melayang menjadi

$$q = \int u y = \left(I_1 - \frac{2}{*_k} I_2 \right) \dots\dots\dots (61)$$

Dimana I_1 dan I_2 = pengintegralan yang masing-masing dapat diperoleh dari gambar 2.17 dan 2.18. debit angkutan q_{sw} dalam persamaan (61) diukur dalam berat persatuan isi dari campuran air sedimen.



Gambar 2.17 Fungsi I_1 dengan ketebalan batas material dasar ξ_α untuk nilai exp. Z_2



Gambar 2.18 Fungsi I_2 dengan ketebalan batas material dasar ξ untuk nilai $\exp. Z_1$

Jika q_{sw} dinyatakan dalam berat per detik per satuan lebar saluran dan I_2 adalah konsentrasi dari berat

$$q = \left(I_1 - \frac{2}{k} I_2 \right) \dots\dots\dots (62)$$

Sama dengan pendekatan Einstein, maka persamaan (61) dapat disederhanakan

$$Q_{sw} = R_s q_{bw} \dots\dots\dots (63)$$

Dengan mengasumsi bahwa kecepatan sedimen dasar $U_b = 0.8V$, dimana

$$R = \frac{1}{0.8} \left(I_1 - \frac{2}{k} I_2 \right) \dots\dots\dots (64)$$

dan tebal lapisan dasar adalah berdasarkan asumsi DuBoys' (1879), sebagai berikut:

$$\delta = \frac{\tau - \tau_c}{(1 - \lambda)(\rho_s - \rho)} \phi \dots\dots\dots (62)$$

Dimana :

τ = tegangan geser di atas dasar dan tegangan geser kritis

τ_c = nilai konstan dari eksperimen (=10)

λ =porositas material dasar

ϕ = sudut gesek material dasar di dalam air