

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan studi eksperimental secara langsung di Sungai Progo Hilir, mengenai fenomena angkutan sedimen di dasar *bedload* yang terjadi pada *sediment transport flume* di Sungai Progo Hilir untuk mendapatkan data muatan sedimen *bedload* dan gradasi butiran *bedload*. Selain itu juga dilakukan pengambilan data berupa elevasi dasar sungai dan elevasi tepi sungai dengan *Echo Sounding* untuk mendapatkan data teristis Sungai Progo Hilir.

#### **A. Prinsip Dasar**

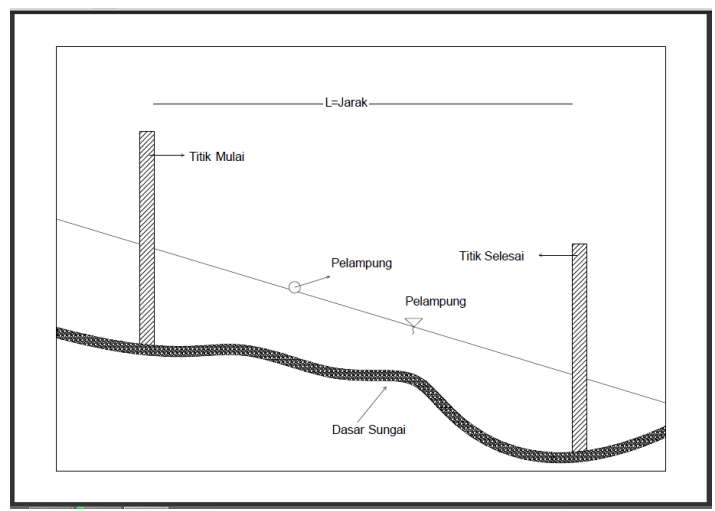
Prinsip dasar angkutan sedimen yaitu untuk mengetahui perilaku sedimen pada kondisi tertentu apakah terjadi keadaan seimbang, erosi, maupun sedimentasi (degradasi dan agradasi). Juga untuk memprediksi kuantitas angkutan sedimen pada proses tersebut. Proses yang terjadi secara alami ini kuantitasnya ditentukan oleh gaya geser aliran serta diameter butiran sedimen, angkutan sedimen dapat menyebabkan terjadinya perubahan dasar sungai. Angkutan sedimen pada suatu ruas sungai yang dibatasi oleh tebing kanan dan kiri akan mengalami erosi atau pengendapan tergantung besar kecilnya debit aliran. Sedangkan untuk mengetahui seberapa besar ruang dasar sungai juga dilakukan penelitian dengan mengambil data teristis dari lebar, panjang, dan kedalaman sungai di Pias Sapon dan Pias Jembatan Srandakan.

#### **B. Hidrometri**

Hidrometri adalah cabang ilmu (*kegiatan*) pengukuran air, atau pengumpulan data dasar bagi analisis hidrologi (Sri Harto, 1993). Dalam pengertian sehari-hari kegiatan hidrometri pada sungai diartikan sebagai kegiatan untuk mengumpulkan data mengenai sungai, baik yang menyangkut tentang ketinggian muka air maupun debit sungai serta sedimentasi atau unsur aliran lain. Beberapa macam pengukuran yang dilakukan dalam kegiatan hidrometri adalah sebagai berikut :

### 1. Pengukuran Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran merupakan komponen aliran yang sangat penting. Hal ini disebabkan oleh pengukuran debit secara langsung pada suatu penampang sungai tidak dapat dilakukan (paling tidak dengan cara konvensional).



Sumber : Triatmodjo, 1993

Gambar 3.1 cara mengukur kecepatan aliran sungai

Kecepatan ini diukur dalam dimensi satuan panjang setiap satuan waktu, umumnya dinyatakan dalam satuan meter per detik (m/d). pengukuran kecepatan aliran dapat dilakukan dengan berbagai cara salah satunya adalah pengukuran menggunakan pelampung (*float*). Pelampung digunakan sebagai alat pengukuran kecepatan aliran apabila diperlukan kecepatan aliran dengan tingkat ketelitian yang relatif kecil. Hitung kecepatan aliran sungai dengan mengalikan antara jarak titik pengamatan dengan waktu tempuh rata-rata (Triatmodjo, 1993).

$$V = \frac{L}{t} \text{ (m/d) } \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan :

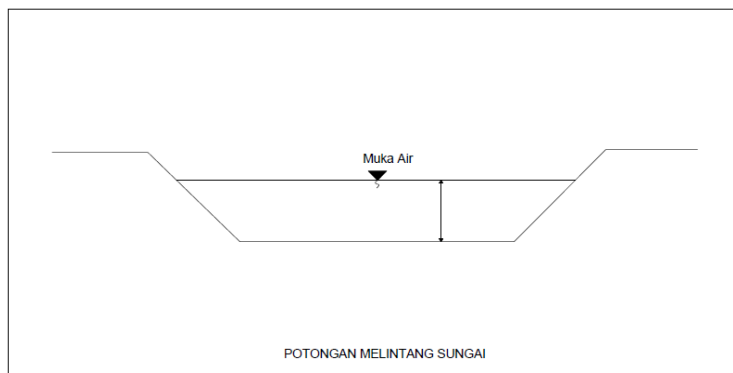
L = jarak

T = waktu

### 2. Pengukuran Tinggi Muka Air

Pengukuran luas penampang memerlukan tinggi muka air, pengukuran tinggi muka air dapat dilakukan dengan beberapa cara, tergantung dari kondisi

aliran sungai yang akan diukur, salah satunya menggunakan tongkat/papan duga yang sisinya terdapat rambu ukur.

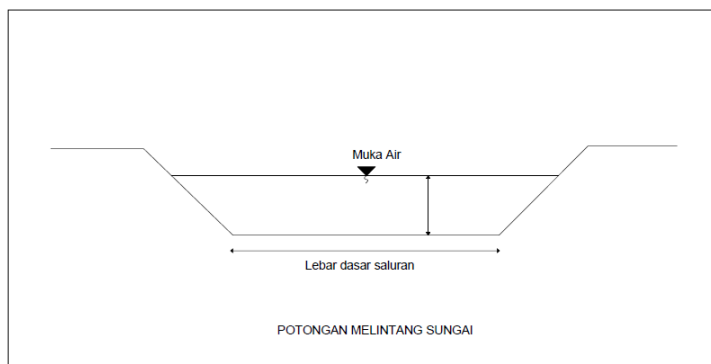


*Sumber : Triatmodjo, 1993*

Gambar 3.2 cara mengukur tinggi muka air

### 3. Pengukuran Lebar Aliran Permukaan (Triatmodjo, 1993).

Pengukuran lebar aliran juga digunakan untuk mengetahui lebar dasar saluran yang nantinya digunakan mendapatkan luas penampang. Pengukuran lebar aliran dilaksanakan menggunakan alat ukur lebar. Pengukuran lebar saluran menggunakan meteran (*oddo meter* atau meteran roda)



*Sumber : Triatmodjo, 1993*

Gambar 3.3 Cara Pengukuran lebar aliran

### 4. Pengukuran Debit (Triatmodjo, 1993)

Debit (*Discharge*), atau besarnya aliran sungai (*Stream Flow*) adalah volume aliran yang mengalir melalui suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Debit dinyatakan dalam satuan  $\text{m}^3/\text{d}$  atau liter/detik. Aliran adalah pergerakan air di dalam alur sungai. Pada dasarnya perhitungan debit adalah pengukuran luas penampang, kecepatan aliran, dan tinggi muka air.

Rumusnya adalah :

$$Q = A.v \dots\dots\dots(3.2)$$

Keterangan :

Q = debit ( $m^3/d$ )

A = luas penampang ( $m^2$ )

v = kecepatan aliran rata-rata (m/d)

nilai A (luas penampang aliran diambil setiap  $\frac{1}{3}$  lebar melintang sungai)

agar didapat kondisi yang lebih mendekati kondisi asli lapangan maka menggunakan persamaan.

$$A = h (b + m \times h) \dots\dots\dots(3.3)$$

Keterangan :

A = Luas penampang ( $m^2$ )

H = kedalaman aliran (m)

b = lebar dasar aliran (m)

m = kemiringan tebing (vertical : horizontal)

Dengan demikian perhitungan debit adalah pengukuran dan perhitungan kecepatan aliran, lebar aliran dan pengukuran tinggi muka air yang akan digunakan untuk perhitungan luas penampang.

##### 5. *Cross Section* (Peraturan Pd T-10-2004-A)

Pada umumnya untuk mendapatkan data pada pengukuran di sungai menggunakan "*Cross Section Method*". Cara ini dilakukan apabila areal lapangan relatif sempit dan memanjang dengan skala peta medium, pada umumnya dilakukan cara ini pada lebar 60-500 m, dengan panjang yang tidak tertentu yang berarti dapat berapa saja dikehendaki, misalnya dalam usaha pengukuran yang diperlukan untuk pembuatan jalan raya dan saluran pengairan dan sebagainya.

Beberapa alat atau perlengkapan yang dipergunakan dalam pelaksanaan pengukuran dengan cara ini, antara lain: *Sounder*, Gps, Monitor, Aki motor, dan alat pendukung lainnya.

Pada Peraturan Pd T-10-2004-A langkah-langkah dalam menentukan elevasi permukaan daerah sungai atau kedalaman sungai bisa dilakukan mengikuti langkah-langkah yang tertera pada Pd T-10-2004-A sebagai berikut.

Pengukuran penampang melintang sungai menurut pedoman konstruksi dan bangunan (Pd T-10-2004-A)

Pengukuran penampang melintang sungai dilakukan dengan metode Cross section yaitu sebagai berikut.

1. Jarak antar penampang melintang yang diukur bergantung pada kegunaan gambar penampang melintang tersebut.
2. Arah penampang melintang yang diukur diusahakan tegak lurus alur sungai.
3. Batas pengambilan detail di areal tepi kiri dan di areal tepi kanan sungai tergantung kegunaan gambar penampang melintang tersebut
4. Detail yang ukur harus dapat mewakili bentuk irisan melintang alur sungai dan relief areal di tepi kiri serta tepi kanan sungai setempat.
5. Jumlah dan kerapatan letak detail yang diukur harus dipertimbangkan pula terhadap skala gambar penampang melintang yang akan dibuat.
6. Pengukuran detail dasar sungai dilakukan dengan menggunakan *echo sounder*.
7. Ketinggian permukaan air sungai pada tiap penampang melintang harus diukur pada saat mengukur penampang melintang.
8. Dan menandai dengan GPS dimana tempat pengambilan data sehingga bisa diambil data tinggi elevasi dan jarak dari koordinat tiap pias ke koordinat pias lainya pada *Google Earth*.

### C. Berat Jenis Sedimen

Tujuan percobaan ini adalah untuk menentukan berat jenis suatu contoh sedimen yang memiliki ukuran butir kurang dari 4,75 mm (Muntohar, 2009). langkah pengujiannya :

1. Bersihkan bagian luar dan dalam piknometer, lalu keringkan. Timbang piknometer hingga ketelitian 0,01 gr ( $W_p$ ). Lakukan hingga 5 kali, dan catat masing-masing beratnya.
2. Lakukan kalibrasi volume piknometer dengan cara sebagai berikut :
  - a. Siapkan air bebas udara (*deaired water*) dengan cara memanaskannya hingga mendidih (*boiling*) atau melalui vakum atau kombinasi keduanya. Dinginkan air hingga mencapai suhu ruang yaitu antara 15-30°C.
  - b. Bersihkan piknometer dan isi air bebas udara hingga penuh, kemudian tutup dan keringkan bagian luarnya dengan kain kering.
  - c. Panaskan piknometer dan air hingga keluar gelembung udara. Dinginkan pada suhu ruang rumah dan masukkan dalam desikator hingga suhu tetap antara 15-30°C selama 3 jam. Timbang piknometer ( $W_{pw,c}$ ).
  - d. Ukur temperatur di dalam piknometer
  - e. Hitung volume piknometer dengan persamaan

$$V_p = \frac{(W_{pw,c} - W_p)}{\rho_{w,c}} \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan :

$V_p$  = volume piknometer (ml)

$W_{pw,c}$  = Berat piknometer dan air pada *temperature* terkalibrasi

$W_p$  = Berat piknometer kosong (gr)

$W_{pw,c}$  = Berat volume air pada saat *temperature* terkalibrasi

- f. Lakukan hingga 5 kali
3. Contoh tanah di hancurkan dalam cawan porselen dengan menggunakan pestel, kemudian keringkan dalam oven.
4. Ambil tanah kering dalam oven dan langsung di dinginkan dalam desikator. Setelah dingin masukan dalam piknometer sebesar 10 gr.
5. Piknometer berisi tanah dan ditutup lalu ditimbang ( $W_{ps}$ )
6. Isi air kurang lebih 10 cc kedalam piknometer, sehingga tanah terendam seluruhnya dan biarkan 2-10 jam.

7. Tambahkan air setilasi sampai setengah atau  $2/3$  penuh, udara yang terperangkap dalam butir-butir harus dikeluarkan dengan cara piknometer bersama air dan tanah dimasukan ke dalam bejana tertutup yang dapat divakum dengan pompa vakum sehingga gelembung udara keluar dan air menjadi jernih.
8. Piknometer ditambah air destilasi sampai penuh dan ditutup. Bagian luar piknometer dikeringkan dengan kain kering. Setelah itu piknometer berisikan tanah dan air ditimbang ( $W_{pws,t}$ ).
9. Air dalam piknometer diukur suhunya dengan thermometer.
10. Gradasi ukuran butir dari hasil analisis saringan.

Berat jenis sedimen adalah perbandingan antara berat sedimen dengan berat air pada volume yang sama dan pada *temperature* tertentu. Untuk mendapatkan harga berat jenis butir tanah (*specific gravity*), digunakan rumus :

$$G_s = \frac{(w_2 - w_1)}{(w_4 - w_1).t_1 - (w_3 - w_2).t_2} \dots\dots\dots(3.5)$$

Keterangan :

$G_s$  = berat jenis butir sedimen ( $\text{gram}/\text{m}^3$ )

$W_1$  = berat piknometer kosong (gram)

$W_2$  = berat piknometer + sampel kering (gram)

$W_3$  = berat piknometer + sampel kering + aquades (gram)

$W_4$  = berat piknometer + aquades jenuh (gram)

$t_1$  = suhu pada  $W_4$  ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_2$  = suhu pada  $W_3$  ( $^{\circ}\text{C}$ )

Tabel 3.1 Ukuran Butiran Sedimen Menurut *American Geophysical union*.

<b>Jenis Tanah</b>	<b>Berat Jenis (g/m<sup>3</sup>)</b>
<i>Sand</i> (Pasir)	2.65 – 2.67
<i>Silty Sand</i> (Pasir Berlanau)	2.67 – 2.70
<i>Inorganic Clay</i> (Lempung Inorganik)	2.70 – 2.80
<i>Soil with mica or iron</i>	2.75 – 2.80
Gambut	<2,00
Humus	1,37
<i>Gravel</i>	>2,70

Sumber : *Wesky, 1997*

#### **D. Klasifikasi Distribusi Ukuran Butiran**

Analisa butiran merupakan dasar tes laboratorium untuk mengidentifikasi tanah dalam system klasifikasi teknik. Sedangkan anilisa saringan agregat adalah penentuan presentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian presentasi digambarkan dalam grafik pembagian butir (SNI 03 – 1969 – 1990). Pengujian menggunakan satu set saringan standar ASTM (*American Society for Testing and Materials*), oven untuk mengeringkan sampel, cawan untuk menyimpan sedimen baik setelah ditimbang maupun sebelum ditimbang, timbang untuk menimbang sampel yang tertahan di setiap saringan.

Agregat adalah butiran alami, cara membedakan jenis agregat yang paling banyak dilakukan adalah dengan didasarkan pada ukuran butirannya. Agregat yang mempunyai ukuran butiran besar disebut agregat kasar dan agregat yang berbutir kecil



disebut agregat halus. Dalam pelaksanaan di lapangan umumnya agregat di kelompokkan menjadi 3 kelompok (Tjokrodimulyo, 2007) yaitu sebagai berikut :

- a. Batu, untuk ukuran butir lebih dari 40 mm
- b. Kerikil, untuk ukuran butiran antara 5 mm sampai 40 mm
- c. Pasir, untuk ukuran butiran antara 0,15 mm sampai 5 mm

Setiap tanah memiliki grafik tertentu karena antara tanah yang satu dengan yang lainnya memiliki butir-butir yang berbeda bentuk dan distribusinya tidak pernah sama. Cara menentukan gradasi adalah :

#### 1. Analisis Saringan

Menurut Muntohar (2009), penyaringan merupakan metode yang biasanya secara langsung untuk menentukan ukuran partikel dengan didasarkan pada batas bawah ukuran lubang saringan yang digunakan, batas terbawah dalam saringan adalah ukuran terkecil untuk partikel pasir. Dalam analisi saringan, sejumlah yang memiliki ukuran lubang yang berbeda-beda disusun dengan ukuran yang terbesar diatas yang kecil. Sampel tanah dikeringkan dalam oven, gumpalan tanah di hancurkan dan sampel tanah akan lolos melalui susunan saringan setelah digetarkan. Tanah yang tertahan pada masing-masing saringan ditimbang dan selanjutnya dihitung presesntasi tanah yang tetahan pada saringan tersebut. Bila  $W_i$  adalah berta tanah yang tertahan pada saringan ke  $i$  (dari atas susunan saringan) dan  $W$  adalah berat tanah total, maka persentase berat yang tertahan adalah :

$$\% \text{ Berat tertahan pada saringan} = \frac{W_i}{W} \times 100\% \dots\dots\dots (3.6)$$

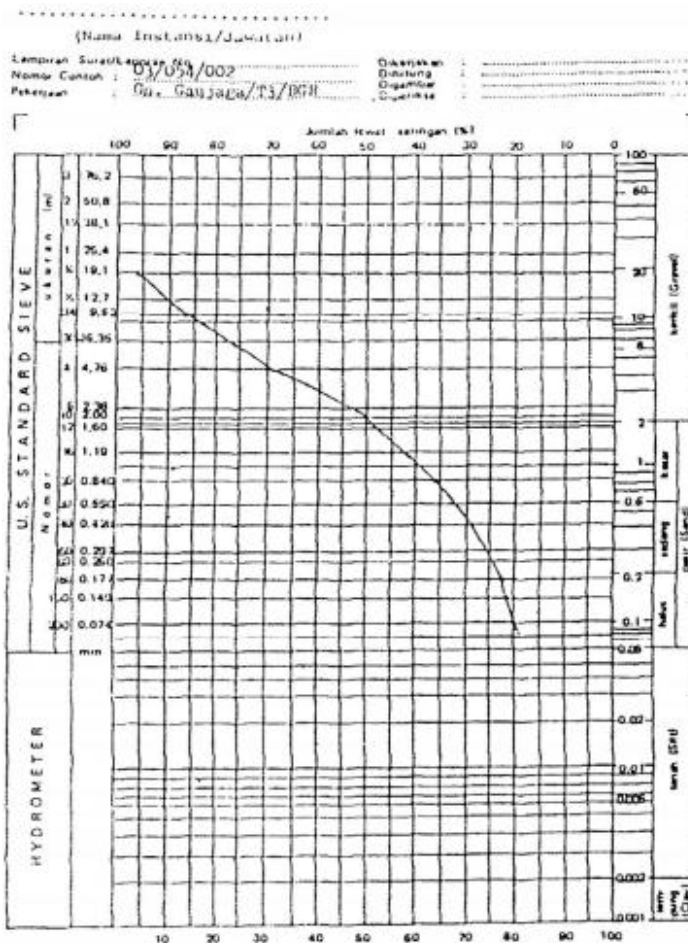
Tabel 3.2 Contoh Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar

No Saringan (mm)	Berat Tertahan Saringan (mm)	% Tertahan (gr)	% Tertahan Komulatif (gr)	% Lolos Komulatif
50.8 (2'')				

<b>36.1 (11/2)</b>				
<b>25.4 (1'')</b>				
<b>19.1 (1/4'')</b>	9,97	9,97	40	96,00
<b>12.7 (1/2)</b>				
<b>9.52 (3/8)</b>	22,95	32,9	43,20	86,80
<b>4</b>	43,54	76,46	30,6	69,40
<b>8</b>	49,58	126,04	50,40	49,60
<b>20</b>	33,07	469,11	63,60	36,40
<b>30</b>				
<b>40</b>	18,49	177,54	71,00	29,00
<b>50</b>				
<b>80</b>	17,19	194,73	77,90	22,10
<b>100</b>	2,76	197,49	79,00	21,00
<b>200</b>	3,31	200,80	80,30	19,70
<b>PAN</b>				

*Sumber : (SNI 03-1968-1990)*

Kemudian hasilnya digambarkan pada grafik presentas yang lebih kecil pada saringan yang diberikan (partikel yang lolos saringan) pada sumbu partikel dan ukuran partikel pada sumbu horizontal (dalam skala logaritma). Grafik ini dinamakan dengan kurva distribusi ukuran partikel atau kurva gradasi seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Sumber :Muntohar.(2009).

Gambar 3.4 Kurva gradasi butiran

### E. Angkutan Sedimen

Sedimen yang sering kita jumpai di dalam sungai, baik terlarut atau tidak terlarut, adalah merupakan produk dari pelapukan batuan induk yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan, terutama perubahan iklim. Hasil pelapukan batuan induk tersebut kita kenal sebagai partikel-partikel tanah, partikel-partikel tanah tersebut dapat terkelupas dan terangkut ke tempat yang lebih rendah untuk kemudian masuk kedalam sungai dan dikenal sebagai sedimen. Oleh karena adanya transpor sedimen dari tempat tinggi ke daerah Hilir dapat menyebabkan pendangkalan waduk, sungai, saluran irigasi, dan terbentuknya tanah-tanah baru di pinggir-pinggir dan di delta-delta sungai.

Berdasarkan pada jenis sedimen dan ukuran partikel-partikel tanah serta komposisi mineral dari bahan induk yang menyusunnya. Dikenal bermacam jenis sedimen seperti pasir, liat, dan lain sebagainya. Tergantung dari ukuran partikelnya, sedimen ditemukan terlarut dalam sungai atau disebut muatan sedimen (*suspended sediment*) dan meraya di das sunga atau dikenal sebagai sedimen merayap (*bed load*).

Kecepatan aliran sungai lebih besar dibandingkan dengan tempat-tempat dekat dengan permukaan tebing atau dasar sungai. Dalam pola aliran sungai tidak menentu atau berputar-putar (*turbulence flow*) tenaga momentum yang diakibatkan oleh kecepatan aliran yang tidak menentu tersebut akan dipindahkan ke arah aliran yang lebih lambat oleh gulungan-gulungan air yang berawal dan berakhir secara tidak menentu pula. Gulungan-gulungan aliran air ini akan mengakibatkan terjadinya bentuk perubahan dari tenaga kinetis yang dihasilkan oleh adanya gerakan aliran air sungai tersebut menjadi tenaga panas, artinya ada tenaga yang hilang oleh adanya gulungai-gulungan air tersebut. Namun demikian ada sebagian tenaga kinetis yang bergerak ke dasar sungai yang memungkinkan terjadinya gerakan partikel-partikel besar sedimen yang tinggal di dasar sungai dan dikenal sebagai sedimen merayap.

Dengan demikian, tampak bahwa perbedaan antara muatan sedimen dan sedimen merayap adalah terletak pada cara partikel-partikel sedimen tersebut bergerak yang ditentukan oleh besar kecilnya ukuran partikel. Lebih rinci lagi, muatan sedimen adalah gerakan partikel-partikel tanah yang karena kecil ukurannya dapat terlarut dalam air. Sementara jenis partikel yang lenih besar tidak dapat larut dalam aliran air, dan oleh karenanya mengendap di atas permukaan tanah untuk menudian bergerak merayap apabila tenaga pendorong dari luar (*energy kinetis*) yang bekerja pada partikel tanah berukuran besar tersebut lebih besar daripada tenaga resisten yang bekerja pada benda tersebut.

Hasil penelitian tentang transport sedimen yang telah banyak dilakukan menunjukkan bahwa secara statistik tenaga penggerak partikel-partikel sedimen di dasar sungai dapat dijelaskan sebagai berikut (Capysa. 2013).

Kecepatan transpor sedimen adalah hasil perkalian antara berat partikel suatu benda (partikel sedimen) dengan kecepatan rata-rata partikel tersebut. Telah diketahui

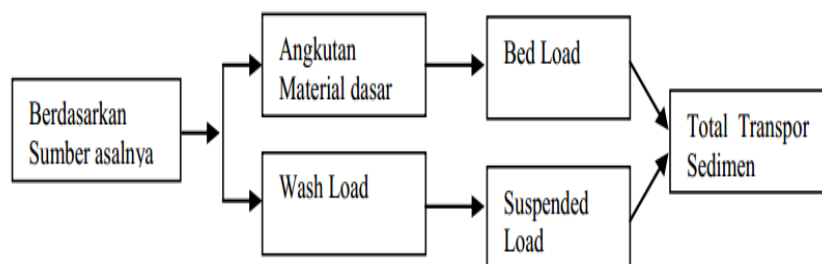
bahwa perkalian antara gaya yang bekerja pada suatu benda dengan jarak adalah tenaga penggerak. Sementara kecepatan gerak suatu benda adalah jarak dibagi lama waktu benda tersebut bergerak. Tenaga (penggerak) dibagi lama waktu yang diperlukan benda tersebut bergerak dari satu titik ke titik lainnya adalah kekuatan (power). Dengan demikian  $(\text{berat/jarak}) \times \text{waktu}$ . Laju transport sedimen, oleh karenanya, ditentukan besarnya kekuatan (penggerak) tersebut di atas.

Besarnya transpor sedimen dalam aliran sungai merupakan fungsi dari suplai sedimen dan energi aliran sungai (*stream energy*). Ketika besarnya energi aliran sungai melampaui besarnya suplai sedimen, terjadi degradasi sungai. Pada sisi lain, ketika suplai sedimen lebih besar daripada energi aliran sungai, terjadilah aggradasi sungai.

#### 1. Proses Transpor Sedimen

Begitu sedimen memasuki badan sungai, maka berlangsunglah transpor sedimen. Kecepatan sedimen merupakan fungsi dari kecepatan aliran sungai dan ukuran partikel sedimen. Partikel sedimen ukuran kecil seperti tanah liat dan debu dapat diangkut aliran air dalam bentuk terlarut (*wash load*). Sedang partikel yang lebih besar antara lain pasir cenderung bergerak dengan cara melompat. Partikel yang lebih besar dari pasir, misalnya kerikil (*gravel*) bergerak dengan cara merayap atau menggelinding di dasar sungai (*bed load*).

Besarnya ukuran sedimen yang terangkut aliran air ditentukan oleh interaksi faktor-faktor sebagai berikut : ukuran sedimen yang masuk ke badan sungai/saluran air, karakteristik saluran, debit, dan karakteristik fisik partikel sedimen. Besarnya debit ditentukan oleh faktor iklim, topografi, geologi, vegetasi dan cara bercocok tanam di daerah tangkapan air yang merupakan asal datangnya sedimen. Sedang karakteristik sungai yang penting, terutama bentuk morfologi sungai, tingkat kekasaran dasar sungai dan kemiringan sungai. Interaksi dari masing-masing faktor tersebut di atas akan menentukan jumlah dan tipe sedimen serta kecepatan transpor sedimen.



Gambar 3.5 Sumber asal sedimen dan mekanisme angkutan  
 Sumber : Kinori,B.Z.,(1984).

## 2. Pegukuran Sedimen

Alat pengumpul sedimen merayap yang banyak digunakan pada dasarnya dapat dibedakan menjadi tiga tipe, yaitu tipe *pit*, tipe keranjang, dan tipe alat ukur sedimen yang memanfaatkan beda tekanan yang dikembangkan oleh *Helley-Smith*. Idealnya alat pengumpul sedimen merayap mampu menangkap sedimen dengan ukuran yang berbeda dengan tingkat efisiensi yang sama. Tingkat efisiensi (nisbah antara sampel sedimen terhadap keseluruhan transpor sedimen) antara 60-70% sudah dianggap memadai. Berikut ini akan diuraikan secara singkat cara kerja masing-masing alat pengumpul sedimen merayap.

### a. Alat pengumpul sedimen merayap tipe *Pit*

Adalah alat penangkap sedimen merayap yang dibuat dengan cara menggali dasar sungai atau aliran air yang akan diukur besarnya transpor sedimennya sehingga berbagai bentuk sedimen merayap akan terperangkap apabila melalui *pit* tersebut. Ukuran alat pengumpul sedimen ini dapat disesuaikan dengan lebar bidang dasar sungai atau disesuaikan dengan keperluan dilakukannya pengambilan sampel, sedimen merayap. Pada tipe alat pengumpul sedimen yang lebih canggih, *Pit* atau lubang di dasar sungai tersebut dengan sabuk berjalan yang dapat memindahkan sedimen yang terperangkap ke tempat khusus yang dilengkapi dengan alat penimbang sedimen, dalam bentuknya yang sederhana *Pit* tersebut dibuat dalam bentuk lubang segi empat dimana permukaan lubang tersebut diusahakan sejajar dengan permukaan dasar sungai sehingga memungkinkan sedimen masuk ke

dalam *Pit*. Selama periode waktu tertentu sedimen yang terperangkap di dalam lubang tersebut diambil untuk ditimbang beratnya.

b. Alat pengumpul sedimen tipe keranjang

Pada umumnya dibuat dengan menggunakan jaring dari bahan plastik atau bahan lainnya yang tahan air dengan ukuran lubang sedemikian rupa sehingga dapat meloloskan sedimen melayang dan menahan sedimen merayap. Ukuran lubang jaring biasanya ditentukan berdasarkan pembatasan ukuran antara sedimen melayang dan sedimen merayap dengan ukuran panjang yang disesuaikan dengan lebar dasar sungai atau disesuaikan dengan keperluan studi.

c. Alat pengumpul sedimen tipe Helley-Smith

Alat pengumpul sedimen ini dirancang sedemikian rupa sehingga diperoleh beda tekanan (penurunan tekanan secara tiba-tiba) pada bagian belakang alat pengumpul sedimen yang berupa kantung (tempat keluarnya sedimen yang terperangkap). Dengan adanya beda/penurunan tekanan (air) inilah yang akan menyebabkan terjadi pemisahan antara sedimen melayang (tidak terperangkap dan lolos dari kantung pengumpul sedimen) dan sedimen merayap (terperangkap dalam kantung). Tipe alat pengumpul sedimen yang terakhir ini telah banyak dimanfaatkan dan tampaknya telah menjadi alat standar untuk pengumpulan sedimen merayap.

Karena yang akan ditinjau adalah volume angkutan sedimen yang terbawa dan tidak terbawa maka sampel yang diambil dari tiap lokasi yakni sedimen disekitar sungai yang tersimpan atau tidak terbawa dan dibandingkan dengan data sedimen yang terbawa pada penelitian sebelumnya.

3. Analisis Volume Angkutan Sedimen

Pengendapan umumnya merupakan akibat adanya erosi dan sebagai perantara utamanya adalah air. Di sungai ataupun di saluran-saluran irigasi, jika terjadi pengendapan akan menyebabkan pendangkalan dan hal ini sangat berpengaruh bagi kehidupan manusia. Hasil sedimen dari suatu daerah pengaliran tertentu dapat ditentukan dengan melakukan pengukuran pengangkutan sedimen

yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran dan hal tersebut dapat menentukan ukuran dari volume sedimen.

Angkutan sedimen di Indonesia memiliki sifat lebih bervariasi dan spesifik yang disebabkan sifat sungai yang berbeda. Selain itu adanya perbedaan dengan jenis endapan dan keadaan musim yaitu musim hujan dan kemarau.

## F. Perhitungan Rumus Empiris

Hasil sedimen dari suatu daerah pengaliran tertentu dapat ditentukan dengan pengukuran sedimen pada titik kontrol alur sungai atau dengan menggunakan rumus-rumus empiris atau semi empiris, pengukuran angkutan sedimen dapat menggunakan rumus-rumus pendekatan di bawah ini :

### 1. Persamaan Meyer – Peter and Muller (Kironoto, 1997) :

Rumus ini dikembangkan di Zurich (Swiss) untuk sedimen kasar, seragam dengan  $\rho_s = 2680 \text{ kg/m}^3$ .

Hubungan paling sesuai adalah sebagai berikut :

$$\frac{q^{2/3} I}{d} = n + b \frac{T_b^{2/3}}{d} \dots\dots\dots (3.7)$$

Keterangan :

Q = debit tiap satuan lebar tiap satuan waktu yang menentukan  
*bedload*  $T_b = \left( \frac{\text{kg.f}}{\text{m.det}} \right)$

$T_b$  = berat *bedload* di udara tiap satuan lebar tiap satuan waktu  $\left( \frac{\text{kg.f}}{\text{m.det}} \right)$

d = diameter butiran (m)

I = kemiringan garis energi

n, b = koefisien



Penyelidikan lebih lanjut dilakukan dengan sedimen bermacam-macam rapat massa ( $\rho_s$ ) dan juga dengan diameter tidak seragam dengan  $\rho_s = 2680 \text{ kg/m}^3$ .

Hasil yang penting adalah sebagai berikut :

Bahwa kehilangan tenaga total harus dianggap terdiri dari dua bagian :

- (1) Kehilangan tenaga akibat bentuk dasar sungai (*shape roughness, dunes/ripple roughness*)
- (2) Kehilangan tenaga akibat gesekan dengan butir di dasar sungai (*partikel/grain roughness*).

Dianggap yang terakhir ( $K_s'$ ) yang lebih menentukan transportasi sedimen (*bedload*), sehingga ditempatkan dalam rumus  $T_b$ :

Dengan rumus Strickler  $u = K_s R^{2/3} I^{1/2}$

Diperoleh kemiringan garis energi akibat gesekan butiran

$$(I') = \left(\frac{K_s}{K_s'}\right)^2 \cdot I \dots\dots\dots (3.8)$$

Sehingga :

$$\mu = \frac{I}{I'} = \left(\frac{K_s}{K_s'}\right)^2 \dots\dots\dots (3.9)$$

Disebut dengan “*Ripple Factor*”

$K_s$  = Koefisien kekasaran strickler

$K_s'$  = kekasaran akibat butiran

Untuk perhitungan *bedload* rumus *Meyer – Peter Muller* yang paling sesuai dengan percobaan ini adalah :

$$\gamma_w \frac{Q_s}{Q} \left(\frac{K_s}{K_s'}\right)^{3/2} h I = 0,047 (\gamma_s - \gamma_w) dm + 0,25 \left(\frac{\gamma_w}{g}\right)^{1/2} (T_b)^{2/3} \dots\dots\dots (3.10)$$

dengan :

$\gamma_w$  = Berat jenis air

$\frac{Q_s R}{Q h}$  = faktor koreksi berhubung dengan tampang saluran,  $\frac{Q_s}{Q} = 1$  untuk

$B = \infty$

$\left(\frac{K_s}{K_{s'}}\right)^{\frac{3}{2}} = Riple\ factor$

dengan :

$dm$  = Diameter median  $\approx d_{50} - d_{60}$

$\gamma_s$  = Berat jenis sedimen

$T_b$  = Berat sedimen ( padat ) dalam air tiap satuan panjang tiap satuan waktu

$$\text{Volume sedimen padat} = \frac{T_b}{\gamma_w - \gamma_s} \text{ ( m}^3 \text{ / m.det )} \dots\dots\dots (3.11)$$

Catatan :

- a. Dalam satuan m k s  $\gamma_w = \rho_w g = 1000 \cdot 9,8 = 9800 \text{ N/m}^3$
- b. Dalam keadaan kritik  $T_b = 0$  maka rumus MPM menjadi :  $\tau_o$

$$\frac{\gamma_w h l}{(\gamma_w - \gamma_s) dm} = 0,047 \quad B = \infty ; \mu = 1$$

$$\frac{\tau_o}{(\gamma_w - \gamma_s) g dm} = 0,047$$

## 2. Persamaan *Einstein*

Menurut (Kironoto,1997) *Einstein* merupakan ahli pertama yang mencoba menurunkan persamaan angkutan sedimen dasar ( *bed load* ) dengan metode persamaan teoritik,yaitu dengan teori statistik. Persamaan ini diturunkan secara dua tahap. Tahap pertama tahun 1942 dimana *Einstein* belum memperhitungkan konfigurasi dasar sungai pada persamaanya. Pada tahap kedua yaitu tahun 1950

*Einstein* memodifikasi persamaan sebelumnya dengan memperhitungkan konfigurasi dasar sungai.

Metode pendekatan *Einstein* didasarkan pada dua konsep dasar. Konsep dasar pertama bahwa konsep kondisi kritik untuk terjadinya angkutan sedimen ditiadakan karena kondisi kritik pada awal pergerakan sedimen sangat sulit untuk didefinisikan. Konsep dasar kedua adalah angkutan sedimen dasar lebih dipengaruhi oleh fluktuasi aliran yang terjadi akibat nilai rata-rata gaya aliran yang bekerja pada partikel sedimen. Dengan demikian bergerak atau berhentinya suatu partikel sedimen lebih tepat dinyatakan dengan konsep probabilitas yang menghubungkan gaya angkat hidrodinamik sesaat dengan berat partikel dalam air.

Adapun langkah – langkah untuk menghitung angkutan sedimen dengan persamaan *Einstein* adalah sebagai berikut :

1. Menentukan nilai ( $Rb'$ ) jari-jari hidraulik akibat pengaruh kekasaran butiran (*grain roughness*) dengan cara coba – coba hingga nilai debit alirannya sama dengan nilai debit aliran yang sudah diketahui ( $Q_{hitung} = Q_{diketahui}$ )

- a. Menghitung kecepatan gesek akibat kekasaran butiran

$$u' = \sqrt{g Rb' S} \dots \dots \dots (3.12)$$

dengan :

$g$  = gravitasi

$Rb'$  = jari-jari hidraulik akibat kekasaran butiran

$S$  = kemiringan dasar sungai atau *slope*

- b. Menghitung tebal lapis *sub – viscositas*

Nilai viskositas atau kekentalan air dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.3 Nilai viskositas atau kekentalan air

Temperatur ( °C )	Viskositas ( $Ns / m^2$ ) $\times 10^{-3}$
0	$1,79 \times 10^{-3}$
5	$1,51 \times 10^{-3}$
10	$1,31 \times 10^{-3}$
15	$1,41 \times 10^{-3}$

20	$1,00 \times 10^{-3}$
25	$8,91 \times 10^{-4}$
30	$7,96 \times 10^{-4}$
35	$7,20 \times 10^{-4}$
40	$6,53 \times 10^{-4}$
50	$5,47 \times 10^{-4}$
60	$4,66 \times 10^{-4}$
70	$4,40 \times 10^{-4}$
80	$3,34 \times 10^{-4}$
90	$3,15 \times 10^{-4}$
100	$2,82 \times 10^{-4}$

Sumber : Kironoto 1997

Rumus tebal lapis sub – viskositas :

$$\delta' = \frac{11,6 u}{u'} \dots\dots\dots(3.13)$$

dengan :

$\delta'$  = Tebal lapis sub - viskositas

$u$  = Viskositas atau kekentalan air.

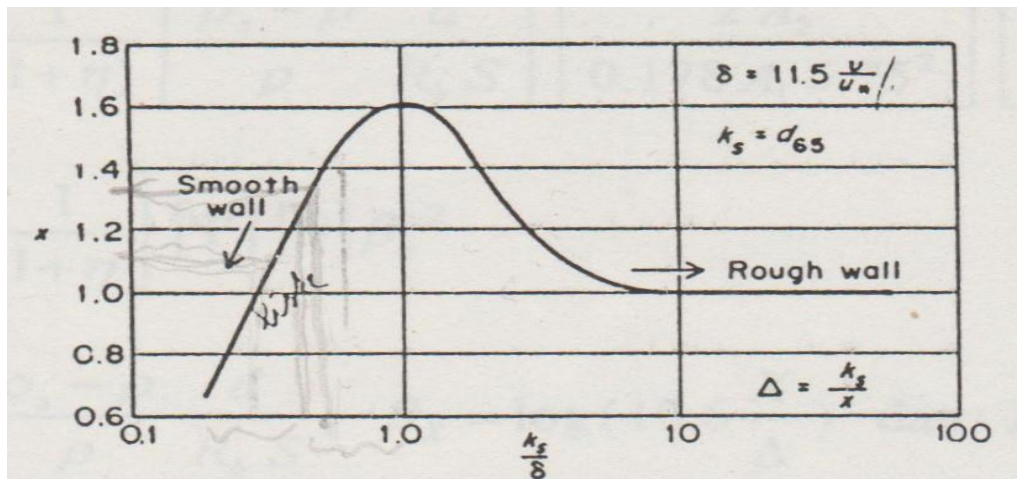
$u'$  = Kecepatan gesek akibat kekasaran butiran.

c. Menentukan faktor koreksi pengaruh viskositas (  $x$  )

$$\frac{Ks}{\delta'} = \frac{d_{65}}{\delta'} \dots\dots\dots(3.14)$$

Dengan :

$Ks$  = Nilai kekasaran butiran



Sumber : Kironoto 1997

Gambar 3.6 Faktor koreksi dalam persamaan distribusi kecepatan logaritmik.

d. Menentukan kecepatan aliran rata – rata

$$v = 5,75 u' \log \left( \frac{12,27 Rb' x}{Ks} \right) \dots\dots\dots (3.15)$$

dengan :

- v = Kecepatan aliran rata – rata
- Rb' = Jari – jari hidraulik akibat kekasaran butiran
- x = Faktor koreksi pengaruh viskositas
- Ks = nilai kekasaran butiran = d<sub>65</sub>

e. Menghitung intensitas aliran

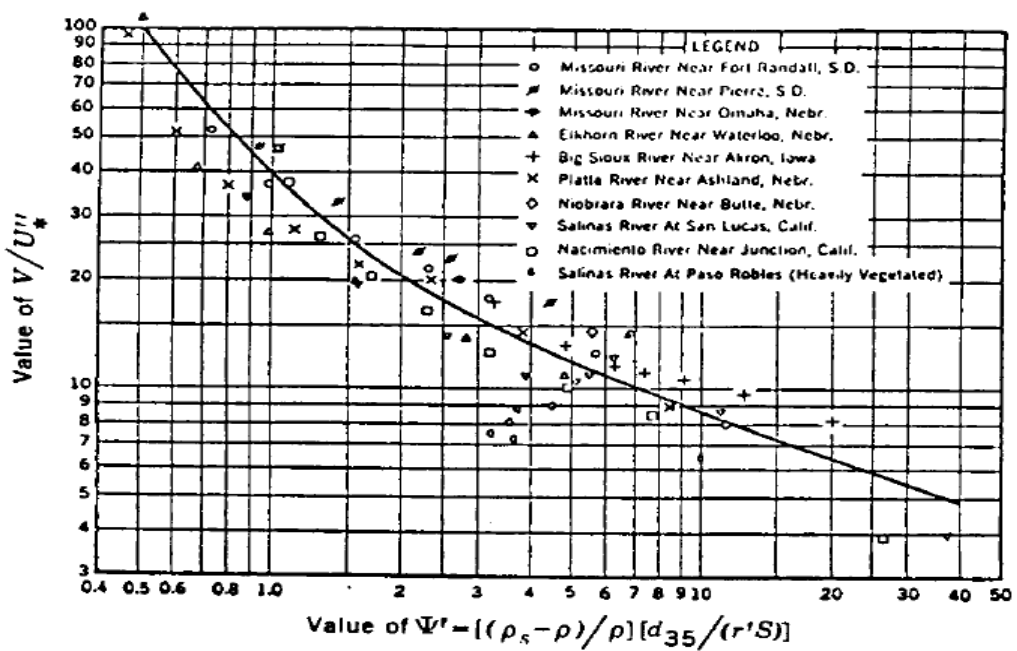
$$\Psi' = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{d_{35}}{S Rb'} \dots\dots\dots (3.16)$$

Dengan :

- Ψ' = Intensitas aliran
- γ<sub>s</sub> = Berat jenis sedimen
- γ = Berat jenis air
- d<sub>35</sub> = Ukuran rata - rata butiran dari d<sub>35</sub>
- Rb' = Jari – jari hidraulik

$S$  = Kemiringan dasar atau *Slope*

Nilai dari intensitas aliran ( $\Psi'$ ) diplotkan ke grafik 3.7 untuk mendapatkan nilai  $v/u''$ . Dari persamaan tersebut didapat kecepatan gesek akibat konfigurasi dasar sungai ( $u''$ )



Sumber : Vito A, Vanoni. (1977)

Gambar 3.7 Grafik intensitas aliran dan kecepatan gesek aliran

f. Menghitung jari – jari hidraulik akibat konfigurasi dasar sungai ( $Rb'$ )

$$u'' = \sqrt{g Rb'' S Rb''} = \frac{u''^2}{g S} \dots\dots\dots (3.17)$$

Dengan :

$Rb''$  = Jari – jari hidraulik akibat konfigurasi dasar sungai

$g$  = Gravitasi

$S$  = Kemiringan dasar sungai

$u''$  = Kecepatan gesek akibat konfigurasi dasar sungai

g. Mengitung jari – jari total

$$Rb = Rb' + Rb''$$

Dengan :

$Rb$  = Jari – jari hidraulik total

$Rb'$  = Jari – jari hidraulik akibat kekasaran butiran

$Rb''$  = Jari – jari hidraulik akibat konfigurasi dasar sungai

h. Menghitung debit kontrol

$$Q = A \cdot v \dots\dots\dots(3.18)$$

Dengan :

$Q$  = Debit hitungan

$A$  = luas penampang (  $B \times h + 2h^2$  ),  $h = Rb'$

$v$  = kecepatan aliran

Jika nilai debit hitungan mendekati debit pengukuran lapangan maka asumsi nilai jari – jari hidraulik akibat kekasaran butiran sudah benar, jika tidak mendekati maka asumsi salah.

2. Menghitung angkutan sedimen dengan asumsi jari – jari hidraulik akibat kekasaran butiran (  $Rb'$  ) yang sudah benar. Adapun langkah – langkahnya adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung intensitas aliran (  $\Psi$  ) menggunakan persamaan 3.16
- b. Menghitung kecepatan gesek akibat kekasaran butiran (  $u'$  ) dengan persamaan 3.12
- c. Menghitung tebal lapis sub viskositas (  $\delta'$  ) menggunakan persamaan 3.13

$$\Delta = \frac{d_{35}}{x} \dots\dots\dots(3.19)$$

Untuk,  $\frac{\Delta}{\delta'} > 1,8$       $x = 0,177 \times \Delta$

Untuk,  $\frac{\Delta}{\delta'}$

d. Mencari *Hiding factor* (  $\xi$  )

Untuk fraksi  $d_i = \text{ukuran} \times 10^{-3}$

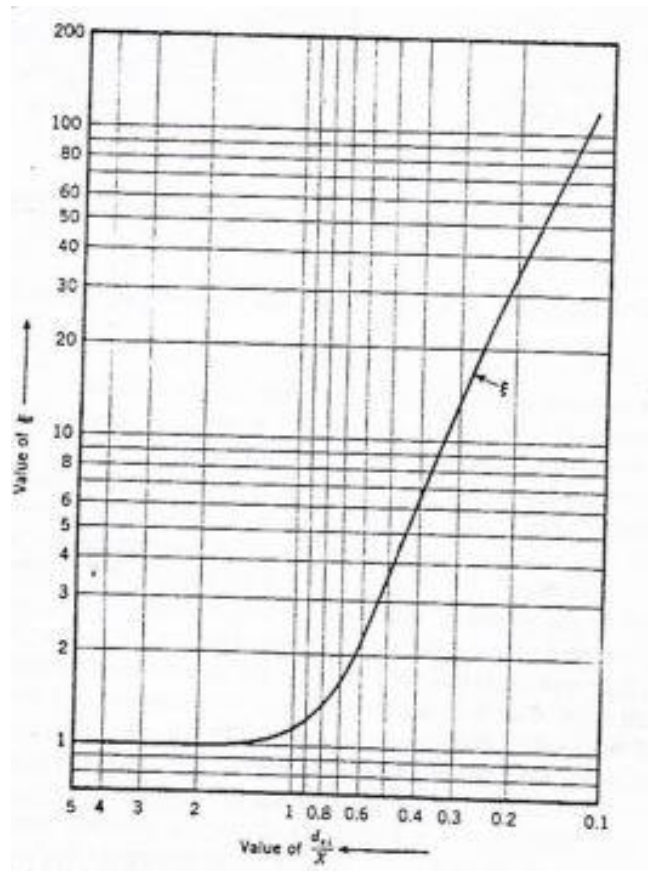
$$\frac{d_i}{x} \dots\dots\dots(3.20)$$

Dengan :

$d_i$  = Kekasaran butiran =  $d_{65}$

$x$  = Nilai karakteristik ukuran butiran tidak seragam

Dengan memasukan nilai hasil dari persamaan 3.21 ke grafik *hiding factor* maka didapat nilai *hiding factor* ( $\xi$ ).



Sumber : Vito A, Vanoni. (1977)

Gambar 3.8 Grafik *Hiding factor*

e. Mencari nilai koreksi gaya angkat ( Y )

$$\frac{Ks}{\delta'} = \frac{d_{65}}{\delta'} \dots\dots\dots(3.21)$$

Dengan :

$Ks$  = Nilai kekasaran butiran

$d_{65}$  = fraksi yang tertampung sebanyak 65 %

$\delta'$  = tebal lapis sub viskositas

dengan memasukan hasil persamaa 3.26 kedalam grafik nilai koreksi gaya angkat maka didapat nilai korekai gaya angkat .

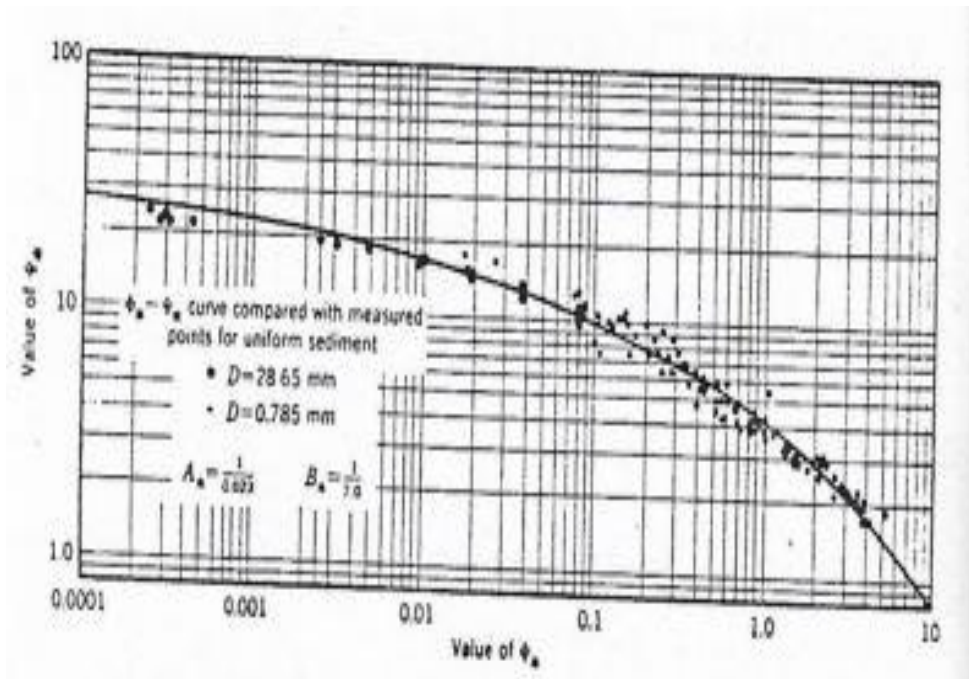


f. Mencari intensitas aliran yang sudah dikoreksi

$$\left(\frac{\beta}{\beta x}\right)^2 = \left(\frac{\log(10,6)}{\log(10,6 \frac{x}{\Delta})}\right)^2 \dots\dots\dots (3.22)$$

$$\Psi'_{o1} = \xi_1 Y_1 \left(\frac{\beta}{\beta x}\right)^2 \dots\dots\dots (3.23)$$

Dari hasil persamaan 3.23 yang diplotkan pada grafik 3.7 maka didapat nilai  $\Phi$  . jika nilai  $\Phi$  berada di luar kurva maka nilainya = 0,0



Sumber : Vito A, Vanoni. (1977)

Gambar 3.9 Grafik intensitas aliran yang sudah dikoreksi“ $\Phi$ ”

g. Menghitung besar angkutan sedimen dasar untuk fraksi  $d_1$

$$(i_b q_b)_1 = i_b \Phi_{o1} \rho_s (g d_1)^{3/2} \left(\frac{\rho - \rho_s}{\rho}\right)^{1/2} \dots\dots\dots (3.24)$$

Dengan :

$i_b$  = Fraksi kelas ukuran i dalam material dasar

$q_b$  = angkutan sedimen dasar dalam berat persatuan waktu dan lebar

$g$  = Percepatan gravitasi

$\Phi$  = Intensitas angkutan sedimen dasar

$\rho$  = Rapat massa air

$\rho_s$  = Rapat massa sedimen

$d_1$  = Diameter ukuran butir kelas i

h. Dengan prinsip yang sama seperti persamaan 3.20 maka fraksi  $d_2$  dan  $d_3$  dapat dihitung besar angkutan sedimen dasarnya.

i. Menghitung angkutan sedimen dasar total

$$(i_b q_b)_{tot} = (i_b q_b)_1 + (i_b q_b)_2 + (i_b q_b)_3 \dots \dots \dots (3.25)$$

j. Menghitung besar angkutan sedimen dasar total perhari

$$\Sigma(i_b q_b) \times 60 \times 60 \times 24 \times b \dots \dots \dots (3.26)$$

Dengan :

$\Sigma(i_b q_b)$  = Angkutan sedimen dasar total

b = lebar dasar sungai

**3. Persamaan *Frijlink***

Dasar dari persamaan *Frijlink* adalah rumus atau persamaan dalam menghitung besaran angkutan sedimen dasar ( *Bedload* ) haruslah memperhitungkan konfigurasi dasar sungai secara khusus. Dalam hal tersebut *Frijlink* menjabarkan nilai menurut *Kironoto, 1997 Strickler* sebagai berikut:

$$\mu = \left( \frac{I}{I'} \right) = \left( \frac{K_s}{K'_s} \right)^{3/2} \dots \dots \dots (3.27)$$

Dengan :

$\mu$  = *Ripple factor*

$K_s$  = Nilai kekasaran butiran

$K'_s$  = Koefisien akibat kekasaran butiran

Sedangkan persamaan untuk menentukan nilai koefisien kekasaran butiran baik yang dipengaruhi oleh kekasaran butiran maupun konfigurasi dasartersebut adalah :

$$k_s = \frac{V}{Rb^{2/3} * I^{1/2}} \dots \dots \dots (3.28)$$

Dengan:

V = Kecepatan aliran

Rb = Radius hidraulik

I = Kemiringan

$K_s$  = nilai kekasaran butiran

$$K's = \frac{26}{d_{90}^{1/6}} \dots\dots\dots (3.29)$$

Dengan :

$K's$  = Kekasaran akibat butiran

$d_{90}$  = diameter representatif 90%

Pada tahun 1952 *Frijlink* menurunkan perasamaan untuk menghitung besaran angkutan sedimen dasar sebagai berikut :

$$Tb = \phi \cdot d_m \sqrt{g \cdot \mu \cdot R \cdot I} = \dots\dots\dots (3.30)$$

dengan :

$Tb$  = Nilai angkutan sedimen dasar

$d_m$  = Diameter butiran representatif =  $d_{50}$

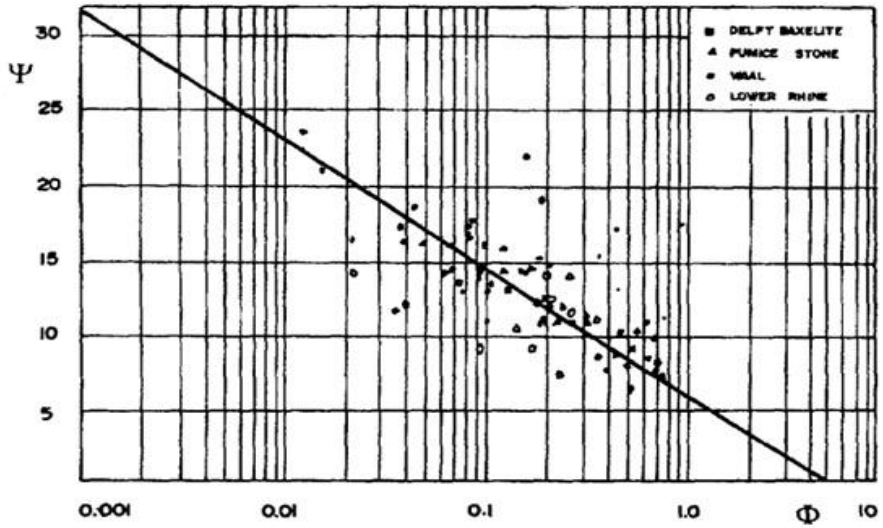
$g$  = Gravitasi

$\phi$  = koefisien *strickler*

$\mu$  = *Ripple factor*

$R$  = Radius hidraulik

$I$  = Kemiringan dasar / *slope*



Sumber : Kironoto 1997

Gambar 3.10 Grafik Angkutan Sedimen

Persamaan diatas digunakan untuk perkiraan pengangkutan sedimen di kali progo Hilir. Karena itu dapat memberikan perkiraan keragaman dalam laju dan volume yang dimungkinkan. Rumus-rumus yang hasilnya paling mendekati hasil pengukuran dapat dipergunakan dengan keyakinan lebih besar untuk meramal besarnya pengangkutan sedimen pada keadaan aliran yang berbeda-beda.