

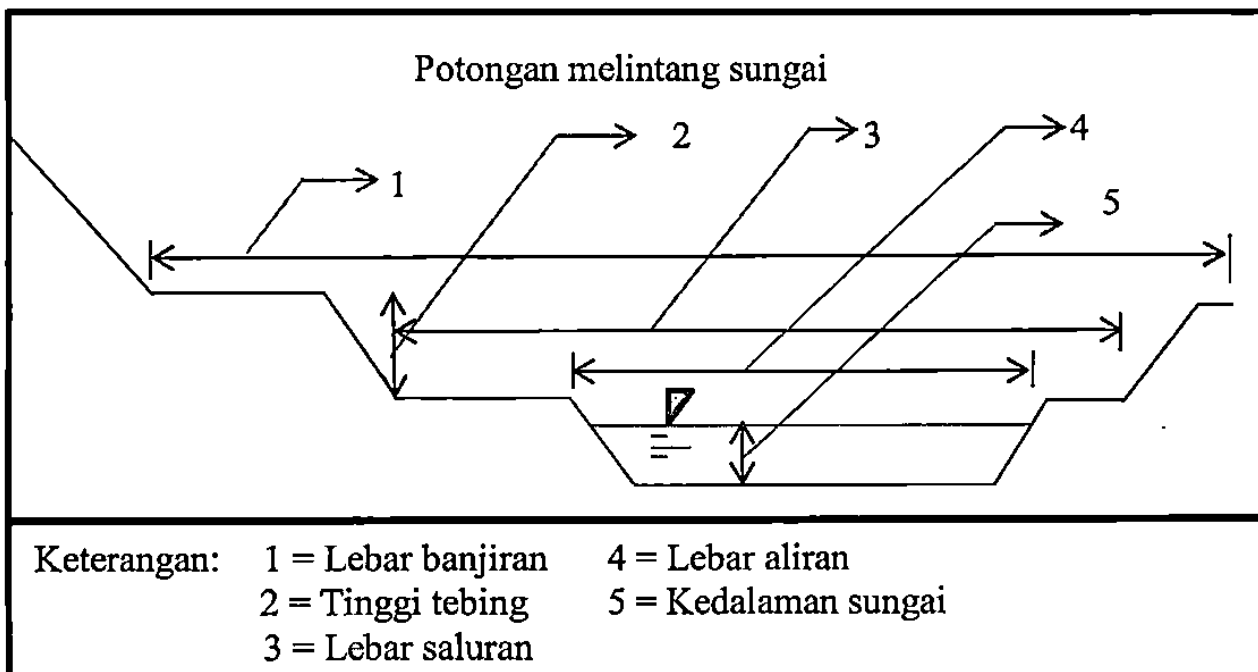
BAB III

LANDASAN TEORI

A. Morfologi Sungai

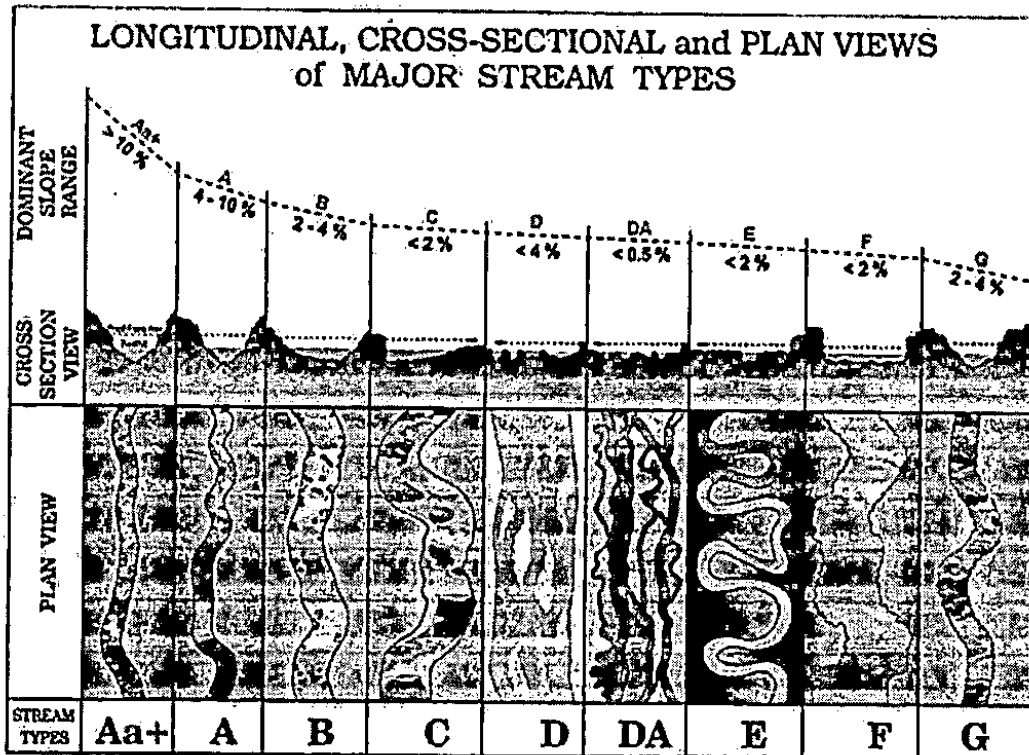
Morfologi sungai merupakan ilmu yang mempelajari tentang perubahan bentuk sungai, penjelasan lebih spesifik morfologi sungai adalah merupakan hal yang menyangkut tentang geometri (bentuk dan ukuran), jenis, sifat dan perilaku sungai dengan segala aspek perubahannya dalam dimensi ruang dan waktu. Dengan demikian menyangkut sifat dinamik sungai dan lingkungannya saling berkaitan.

Dalam menentukan morfologi sungai, diperlukan data-data geometri sungai meliputi lebar sungai, kedalaman, penampang sungai, koordinat lokasi dan kemiringan dasar sungai.



1. Tipe-tipe morfologi sungai

Gambaran utama tipe-tipe morfologi sungai menurut Dave Rosgen (1996) adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Tipe bentuk morfologi (Rosgen, 1996)

a. Tipe sungai Aa+

Tipe sungai Aa+ memiliki kemiringan yang sangat curam (>10%), saluran berparit yang baik, memiliki rasio lebar/kedalaman (*W/D ratio*) yang rendah dan sepenuhnya dibatasi oleh saluran kecil. Bentuk dasarnya merupakan cekungan luncur atau aliran terjun (super kritis), tipe sungai Aa+ banyak dijumpai pada dataran dengan timbunan agregat, zona pengendapan seperti aliran sungai bersalju, bentuk lahan yang secara struktural dipengaruhi oleh patahan, dan zona pengendapan yang berbatasan dengan tanah residu. Arus sungai

umumnya beraliran deras atau terjun (super kritis), tipe sungai Aa+ disebut sebagai sistem suplai sedimen disebabkan lereng saluran yang curam dan potongan melintang yang sempit serta dalam.

b. Tipe sungai kecil A

Tipe sungai A hampir sama dengan tipe sungai Aa+ yang telah dijelaskan sebelumnya, yang membedakan adalah kemiringan lereng saluran mencapai 4% sampai 10% dan arus sungai umumnya merupakan cekungan dengan air kantung (*scour pool*).

c. Tipe sungai kecil B

Tipe sungai B umumnya terdapat pada tanah dengan kemiringan yang curam dan sedikit miring. Dengan bentukan lahan utama sebagai kolom belerang yang sempit, banyak sungai tipe B adalah hasil dari zona struktural, patahan, sambungan, dan bagian lereng lembah yang terkontrol secara struktural menjadi lembah yang sempit yang membatasi pengembangan dataran banjir. Tipe sungai B mempunyai saluran berparit rasio lebar per kedalaman (*W/D ratio*) (< 2), *sinousitas* saluran rendah dan didominasi oleh saluran deras (super kritis). Morfologi bentuk dasar yang dipengaruhi runtuh dan perbatasan lokal, umumnya menghasilkan air kantung (*scour pool*) dan aliran deras serta tingkat erosi pinggir sungai yang relatif rendah.

d. Tipe sungai kecil C

Tipe sungai C terdapat pada lembah yang relatif sempit sampai

memiliki dataran banjir yang berkembang dengan baik, kemiringan saluran $< 2\%$ dan morfologi dasar yang mengindikasikan konfigurasi cekungan. Potongan dan bentuk dari tipe sungai C dipengaruhi oleh rasio lebar per kedalaman (*W/D ratio*) yang umumnya (< 12) dan sinusitas $> 1,4$. Bentuk morfologi utama dari tipe sungai C adalah saluran dengan relief rendah, kemiringan rendah, sinusitas sedang, saluran berparit rendah, rasio per kedalaman tinggi, serta dataran banjir yang berkembang baik.

e. Tipe sungai kecil D

Tipe sungai D mempunyai konfigurasi yang unik sebagai sistem saluran yang menunjukkan pola berjaln dengan rasio lebar per kedalaman (*W/D ratio*) yang sangat tinggi (> 40), dan lereng saluran yang umumnya sama dengan lereng lembah. Tingkat erosi yang sangat tinggi dan rasio lebar saluran yang sangat rendah, dengan suplai sedimen yang tidak terbatas. Bentuk saluran merupakan tipe pulau yang bervegetasi. Pola saluran berjaln dapat berkembang pada daerah bermaterial sangat kasar yang terletak pada lembah dengan lereng yang cukup curam, sampai lembah dengan gradien yang rendah, rata, dan sangat bebas yang berisi material yang sangat halus.

f. Tipe Sungai Kecil DA (*Branastomosis*)

Tipe sungai DA (*Branastomosis*) adalah suatu sistem saluran berjaln dengan gradien yang sangat rendah dan lebar aliran setiap

stabil dan memiliki banyak saluran dan rasio lebar per saluran serta *sinousitas* bervariasi dari sangat rendah sampai sangat tinggi.

g. Tipe Sungai E

Tipe sungai E merupakan perkembangan tipe sungai F, yaitu mulai saluran yang lebar, berparit, dan berkelok mengikuti perkembangan daerah banjir dan pemulihan vegetasi dari bekas saluran F. Tipe sungai kecil E agak berparit, yang menunjukkan rasio lebar per kedalaman (*W/D ratio*) tertinggi dari semua tipe sungai. Tipe sungai E adalah suatu cekungan konsisten yang menghasilkan jumlah cekungan dari setiap unit jarak saluran, sistem sungai E umumnya terjadi di lembah aluvial yang mempunyai elevasi rendah.

h. Tipe Sungai F

Tipe sungai F adalah saluran berkelok yang berparit klasik, mempunyai elevasi yang relatif rendah yang berisi batuan yang sangat lapuk atau mudah terkena erosi. Karakteristik sungai F adalah mempunyai rasio lebar per kedalaman saluran (*W/D ratio*) yang sangat tinggi dan bentuk dasar sebagai cekungan sederhana.

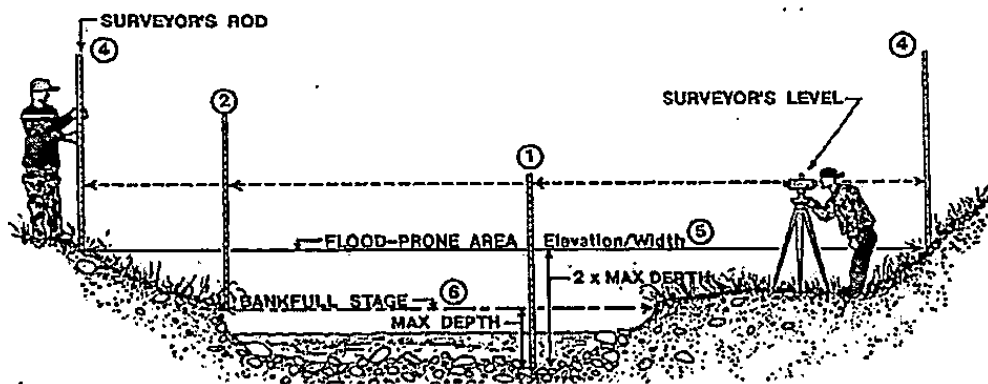
i. Tipe sungai G

Tipe sungai G adalah saluran bertingkat, berparit, sempit dan dalam dengan sinusitas tinggi sampai sederhana. Kemiringan saluran umumnya $>0,02$, meskipun saluran dapat mempunyai lereng yang landai dimana sebagai lereng yang dipotong ke bawah. Tipe sungai G

kedalaman maksimum aliran (D_{mbkf}), *sinousitas* (belokan sungai), kemiringan aliran (*slope*), dan material dasar sungai (d_{50}).

a. *Entrenchment Ratio*

Entrenchment Ratio adalah rasio hubungan antara lebar aliran banjir (W_{fpa}) terhadap lebar aliran sungai (W_{bkf}). Untuk studi saat ini tidak menggunakan alat *waterpass*, namun hanya digunakan alat meteran untuk melakukan pengukuran.



Gambar 3.4 Cara pengukuran *Entrenchment Ratio* (Rosgen 1996).

Cara perhitungan dalam menentukan *Entrenchment Ratio* adalah sebagai berikut:

$$\text{Entrenchment Ratio} = \frac{\text{Lebar aliran banjir } (W_{fpa})}{\text{Lebar aliran sungai } (W_{bkt})} \dots\dots\dots \text{Persamaan (3.1)}$$

Keterangan :

W_{fpa} = lebar aliran banjir (*flood - prone area width*).

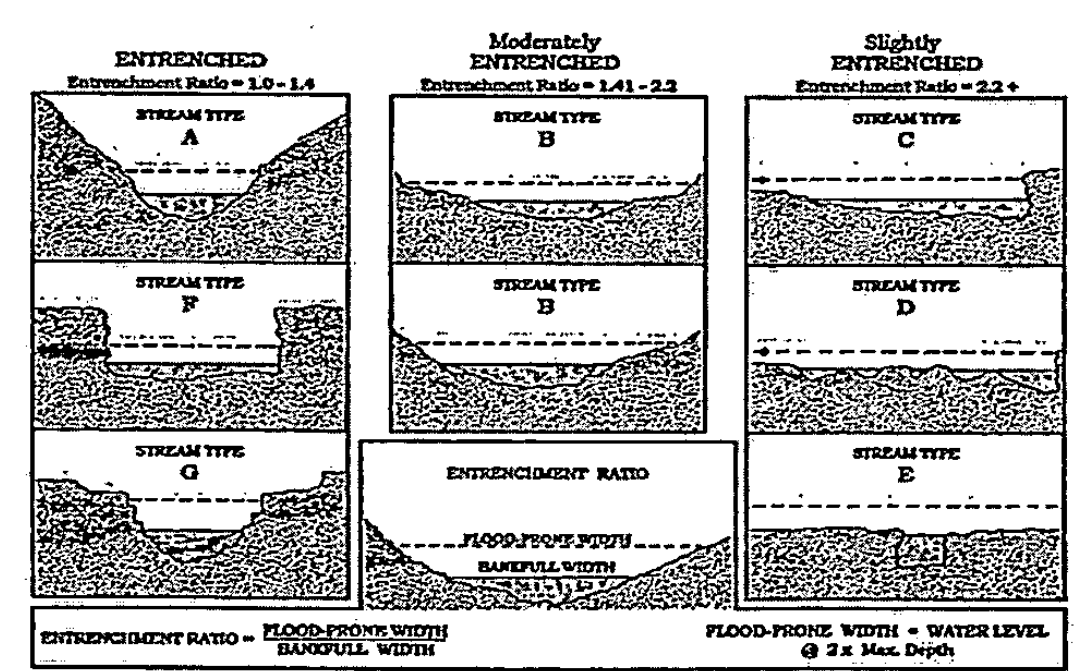
W_{bkt} = lebar aliran sungai (*bankfull surface width*).

Entrenchment Ratio pada sungai dibagi menjadi tiga kriteria, yaitu:

1. Aliran berparit besar 1–1,4 mewakili tipe sungai A, F dan G.

2. Aliran berparit sedang 1,4–2,2 mewakili tipe sungai B

3. Aliran berparit sekitar 2,2 ke atas mewakili tipe sungai C, D, dan E.



Gambar 3.5 *Entrenchment Ratio* mewakili tipe sungai (Rosgen, 1996).

- b. *Width/Depth Ratio (W/D Ratio)*

Width/Depth Ratio adalah rasio hubungan antara lebar sungai (W_{bkf}) terhadap kedalaman sungai (D_{bkf}). Adapun rumus yang digunakan adalah :

$$\text{Width / Depth Ratio} = \frac{\text{Lebar aliran sungai } (W_{bkf})}{\text{Kedalaman aliran sungai } (D_{bkf})} \quad \text{.....Persamaan}$$

(3.2)

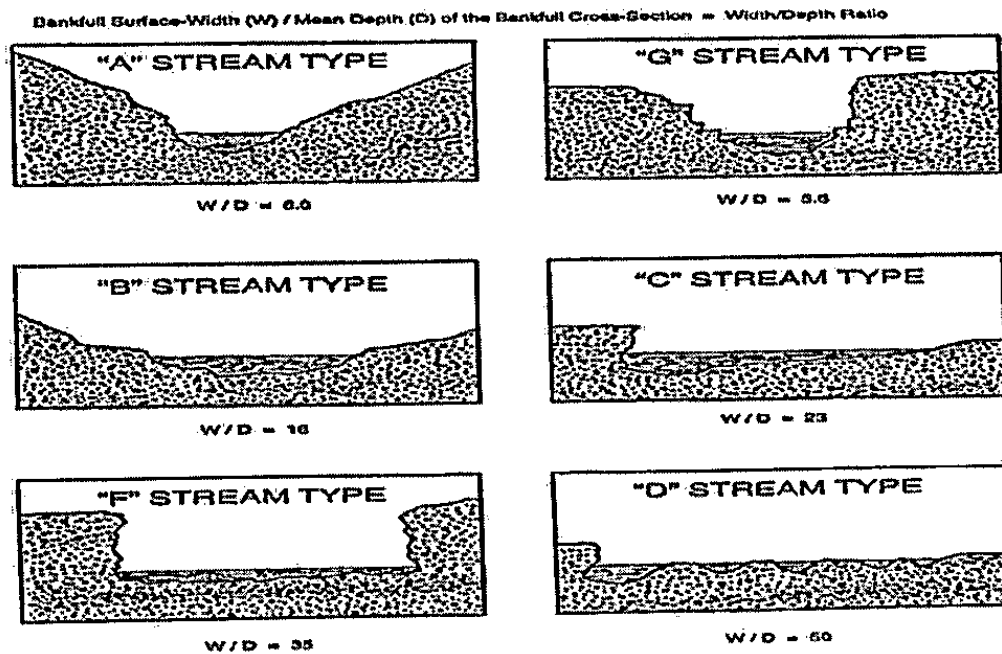
Keterangan :

W_{bkf} = lebar aliran sungai (*bankfull surface width*).

D_{bkf} = kedalaman sungai (*bankfull mean depth*).

W_{bkf} / D_{bkf} di sungai dibagi dalam 4 kriteria yaitu :

1. Untuk tipe sungai A, E dan G mewakili W/D ratio lebih kecil dari 12.
2. Untuk tipe sungai B, C dan F mewakili W/D ratio lebih besar dari 12.
3. Untuk tipe sungai DA mewakili W/D ratio lebih kecil dari 40.
4. Untuk tipe sungai D mewakili W/D ratio lebih besar dari 40.



Gambar 3.6 Contoh W/D Ratio mewakili tipe sungai (Rosgen, 1996).

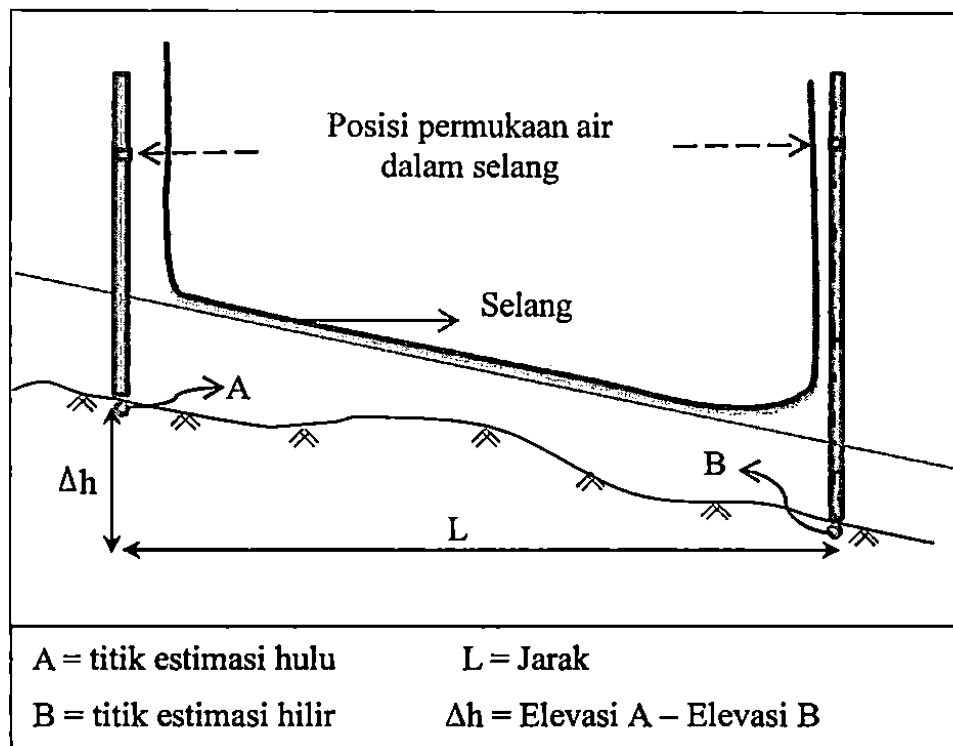
c. Kemiringan Alur Sungai (*slope*)

Kemiringan alur sungai merupakan salah satu faktor utama dalam menentukan tipe sungai. Setelah tipe sungai diketahui maka dapat diketahui morfologi dan hubungannya terhadap sedimentasi, fungsi hidrolis, dan fungsi ekologi. Pengukuran kemiringan sungai menggunakan metode selang, antara lain sebagai berikut :

1. Alat yang digunakan antara lain dua buah tongkat yang sama

selang kecil dengan panjang sesuai kebutuhan dan kondisi di lapangan, dan meteran tangan.

2. Ditentukan jarak yang akan diukur kemiringan alur sungainya, Semakin jauh maka semakin baik.
3. Kedua tongkat atau rambu ukur ditempatkan pada titik awal dan titik akhir, tempatkan ujung selang yang telah diisi dengan air pada kedua tiang dan posisi permukaan air pada tiang pertama tepat pada tanda.
4. Ukur atau baca ketinggian antara permukaan air dalam selang dengan tanda tongkat atau rambu ukur kedua.



Gambar 3.7 Pengukuran *Slope* menggunakan Selang.

Kemiringan alur sungai menurut Rosgen (1996), bentuk sungai secara memanjang dibedakan menjadi tujuh tipe yaitu, tipe A, B, C, D, E, F dan G. Tipe tersebut akibat pengaruh kemiringan memanjang dan

bahan penyusun dasar sungai. Berdasarkan kemiringan dominannya, sungai dapat dibagi menjadi :

1. Sungai dengan kemiringan dominan diatas 10%, umumnya dimiliki oleh sungai bertipe Aa+.
2. Sungai dengan kemiringan dominan antara 4% sampai dengan 10%, umumnya dimiliki oleh sungai bertipe A.
3. Sungai dengan kemiringan dominan antara 2% sampai dengan 4%, umumnya dimiliki oleh sungai bertipe B dan G.
4. Sungai dengan kemiringan dominan lebih kecil dari 2% umumnya dimiliki oleh sungai bertipe C, E dan F.
5. Sungai dengan kemiringan dominan lebih kecil dari 4% umumnya dimiliki oleh sungai bertipe D.
6. Sungai dengan kemiringan dominan lebih kecil dari 0,5% umumnya dimiliki oleh sungai bertipe DA.

Berikut ini merupakan rumus untuk menghitung kemiringan sungai:

$$Slope = \frac{\Delta h}{L} \times 100\% \dots\dots\dots \text{Persamaan (3.3)}$$

Keterangan :

Δh = Elevasi Titik A – Elevasi Titik B

L = jarak dari titik A ke titik B

d. Material Dasar Sungai

Pengamatan dan pengambilan material dasar sungai digunakan untuk mengetahui bahan penyusun dasar sungai, untuk mengetahui

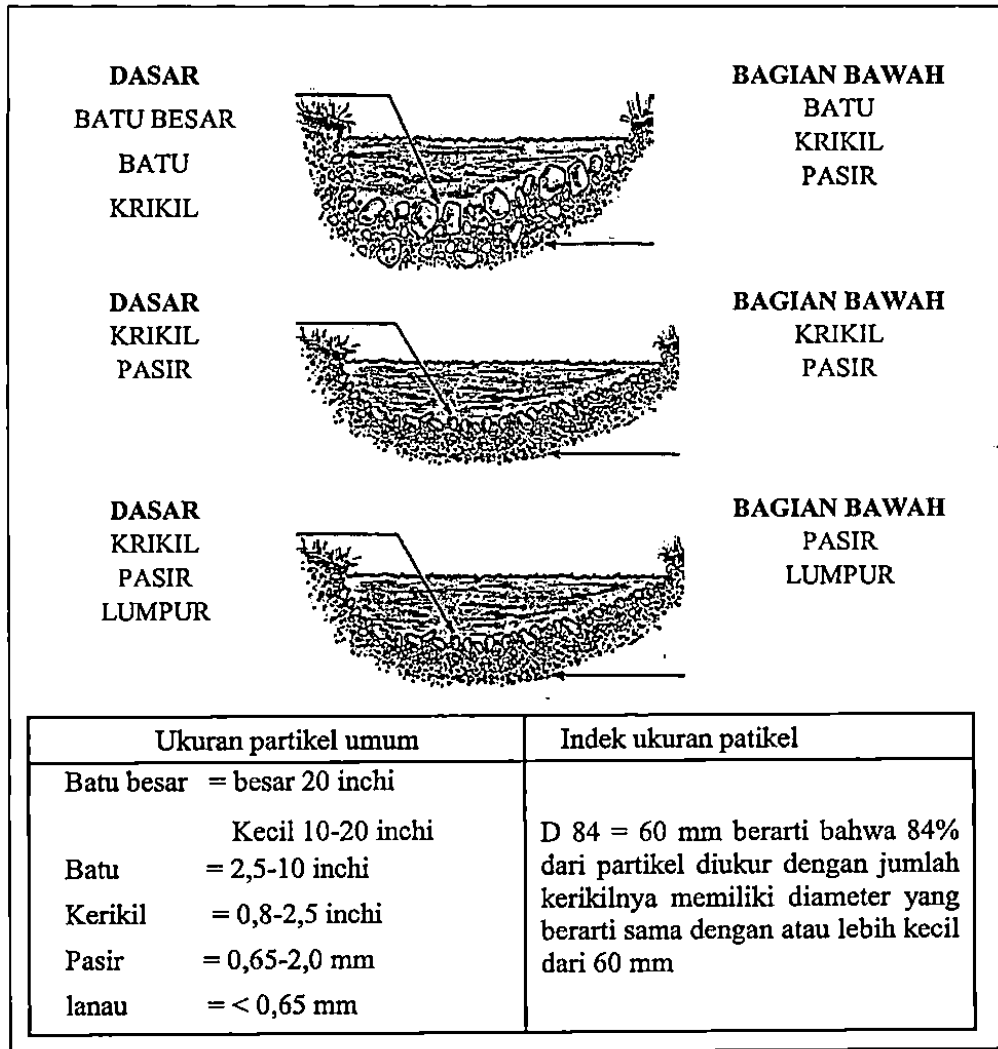
bagaimana kondisi dasar sungai dilakukan pengambilan sampel dan

pengujian distribusi ukuran butiran menggunakan ayakan. Adapun beberapa ukuran partikel dasar sungai yaitu:

Tabel 3.1 Ukuran partikel penyusun dasar sungai (Windiatama, 2011).

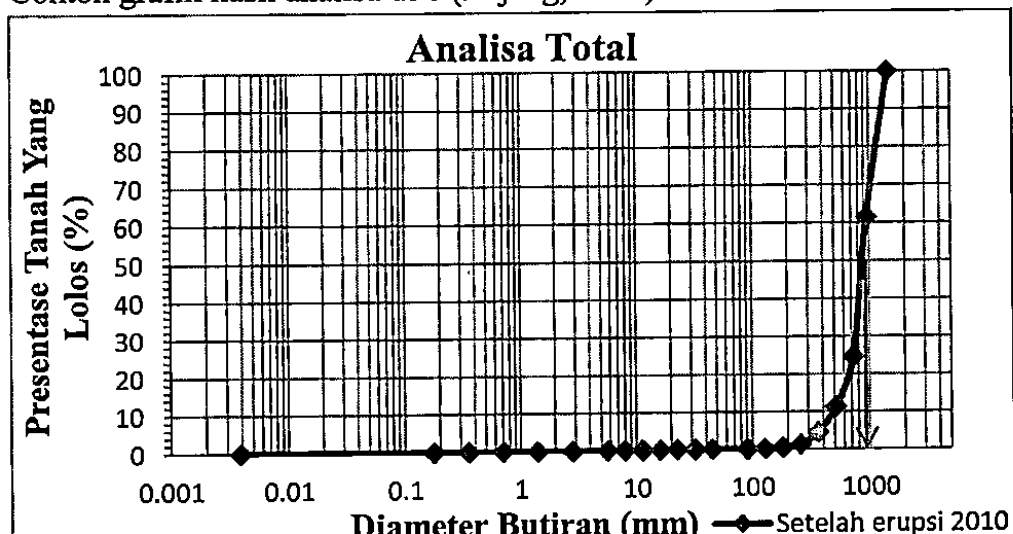
Nama Partikel	Ukuran	Sedimen
Boulder/Bongkah	>256 mm	Gravel
Cobble/Kerakal	64 – 256 mm	Gravel
Pebble/Kerikil	2 – 64 mm	Gravel
Sand/Pasir	1/16 – 2mm	Sand
Silt/Lanau	1/256 – 1/16 mm	Silt
Clay/Lempung	<1/256 mm	Clay

Untuk menentukan material dasar sungai maka diambil material yang paling dominan. Ukuran partikel dominan merupakan jumlah yang terbesar dari ukuran partikel yang diamati. Selain itu, dapat juga ditentukan dengan d_{50} . d_{50} adalah 50% dari populasi sampel yang diamati sehingga mewakili diameter sampel yang diamati yang diperoleh dari grafik distribusi ukuran butiran (20).



Gambar 3.8 Material penyusun dasar sungai (Rosgen, 1996).

Contoh grafik hasil analisa d50 (Lujeng, 2011) :

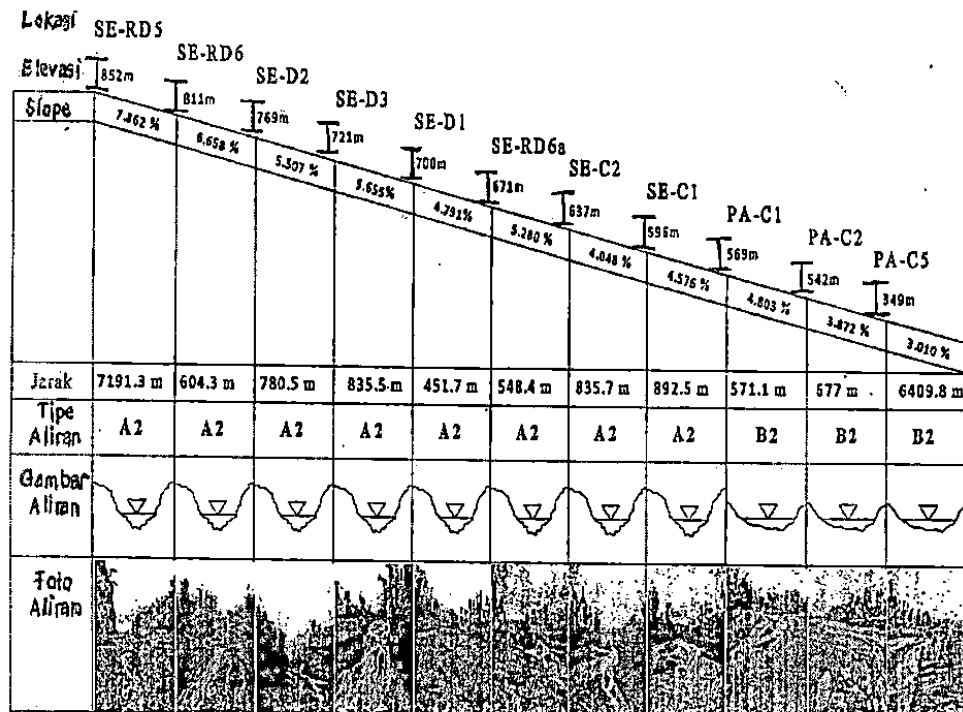


Gambar 3.9 d_{50} pada grafik distribusi ukuran butiran (Lujeng, 2011)

Hasil perhitungan morfologi sungai kemudian disajikan dalam Tabel 3.2 dan Gambar 3.10.

Tabel 3.2 Hasil perhitungan morfologi sungai (Winditiatama, 2011).

No.	Nama	Slope				Entrenchment Ratio			W/D Ratio		D-50	Tipe Morfologi sungai	
		Elevasi Awal (m)	Elevasi Akhir (m)	Jarak (m)	Kemiringan (%)	Lebar Banjir (m)	Lebar Aliran (m)	Entrenchment Ratio	Lebar Aliran (m)	Kedalaman Aliran (m)			W/D Ratio
1	SE-RD5	2905	852.2208	7191.274114	7.862	32.10	6.30	5.10	6.30	0.35	18.00	batu besar	A2
2	SE-RD6	852.2208	811.9872	604.2877471	6.658	30.00	3.10	9.68	3.10	0.35	8.86	batu besar	A2
3	SE-D2	811.9872	769.0104	780.4543737	5.507	22.00	11.50	1.91	11.50	0.40	28.75	batu besar	A2
4	SE-D3	769.0104	721.7664	835.5100949	5.655	30.00	5.00	6.00	5.00	0.38	13.16	batu besar	A2
5	SE-D1	721.7664	700.1256	451.7195091	4.791	25.00	4.00	6.25	4.00	0.33	12.12	batu besar	A2
6	SE-RD6a	700.1256	671.1696	548.3592558	5.280	25.20	7.60	3.31	7.60	0.23	33.04	batu besar	A2
7	SE-C2	671.1696	637.3368	835.6906455	4.048	40.00	3.50	11.43	3.50	0.35	10.00	batu besar	A2
8	SE-C1	637.3368	596.4936	892.541304	4.576	25.00	10.30	2.43	10.30	0.25	41.20	batu besar	A2
9	PA-C1	596.4936	569.0616	571.1365188	4.803	20.00	10.00	2.00	10.00	0.50	20.00	batu besar	A2
10	PA-C2	569.0616	542.8488	676.9572314	3.872	90.00	8.00	11.25	8.00	0.45	17.78	batu besar	B2
11	PA-C5	542.8488	349.9104	6409.775872	3.010	20.00	10.00	2.00	10.00	0.50	20.00	batu besar	B2



Gambar 3.10 Hasil perhitungan morfologi sungai

(Winditiatama, 2011)

B. Hidrometri

Hidrometri adalah cabang ilmu (kegiatan) pengukuran air, atau pengumpulan data dasar bagi analisis hidrologi (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. 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). Kecepatan ini diukur dalam dimensi kedalaman air setiap satuan waktu, umumnya dinyatakan dalam meter/det (Harto, 1993). Pengukuran kecepatan aliran dapat dilakukan dengan berbagai cara salah satunya adalah pengukuran dengan *Current meter* (alat ukur arus). Pengukuran kecepatan dengan menggunakan *current meter* dapat dilakukan dengan cara merawas, dari jembatan, menggunakan perahu, menggunakan *winch cable way* dan dengan menggunakan *cable car*. Dalam penelitian ini pengukuran kecepatan dilakukan dengan merawas (raharjabayu.wordpress.com, 2011).

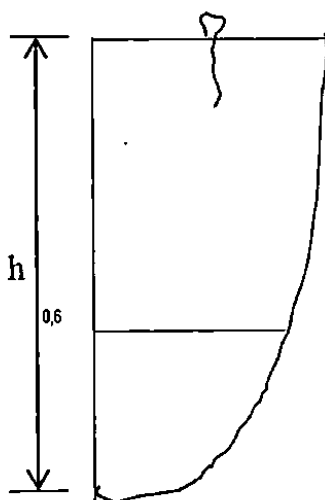
a. Pengukuran kecepatan dengan cara merawas adalah petugas pengukur

langsung masuk ke dalam badan air. Petugas pengukur minimal terdiri

dari 2 orang, 1 orang petugas mengoperasikan peralatan dan 1 orang petugas mencatat data pengukuran (raharjabayu.wordpress.com, 2011).

Dalam pelaksanaannya perlu memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

1. Dilakukan pada lokasi sebatas pengukur mampu merawas.
 2. Posisi berdiri pengukur harus berada di hilir alat ukur arus dan tidak boleh menyebabkan berubahnya garis aliran pada jalur vertikal yang diukur
 3. Hindari berdiri dalam air apabila akan mengakibatkan penyempitan penampang melintang
 4. Apabila posisi *current meter* (arah aliran) tidak tegak lurus terhadap penampang melintang sungai, maka besarnya sudut penyimpangan perlu dicatat untuk menghitung koreksi kecepatan di vertikalnya.
 5. Kedalaman air tidak lebih dari 1,2 m dan kecepatan air < 1 m/det.
- b. Perhitungan pengukuran dilakukan dengan ketentuan :
1. Apabila pengukuran dilakukan satu titik



Pengukuran V aliran pada titik 0,6 kedalaman dari permukaan air ($0,6 \times \text{hair}$). Kecepatan aliran pada 0,6 kedalaman tersebut merupakan kecepatan rata-rata vertikal kedalaman.

maka :

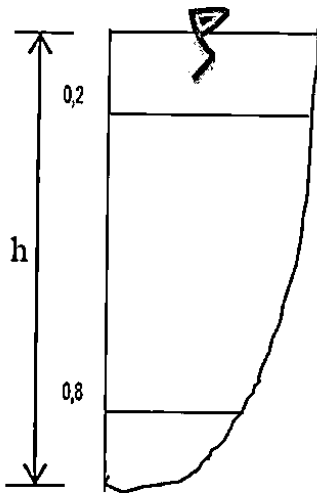
$$V = V_{0,6} \dots \dots \dots \text{Persamaan (3.4)}$$

dengan :

V : Kecepatan rata-rata pada vertikal kedalaman (m/det)

$V_{0,6}$: Kecepatan pada 0,6 kedalaman

2. Apabila pengukuran dilakukan dua titik



Gambar 3.12 dua titik

Pengukuran V aliran dilakukan pada titik 0,2 (0,2 x hair) dan 0,8 (0,8 x hair) dari permukaan air .

maka

$$V = \frac{v_{0,2} + v_{0,8}}{2} \dots \dots \dots \text{Persamaan (3.5)}$$

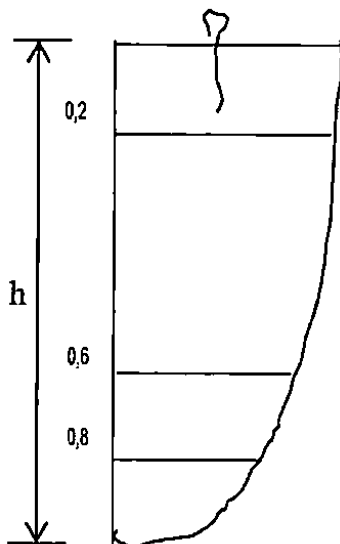
dengan :

V : Kecepatan rata-rata pada vertikal kedalaman (m/det)

$V_{0,2}$: Kecepatan pada 0,2 kedalaman (m/det)

$V_{0,8}$: Kecepatan pada 0,8 kedalaman (m/det)

3. Apabila pengukuran dilakukan tiga titik



Gambar 3.13 tiga titik.

Pengukuran V aliran dilakukan pada titik 0,2 (0,2 x hair) dan 0,8 (0,8 x hair) dari permukaan air .

maka

$$V = \frac{1}{2} (V_{0,6} \left(\frac{v_{0,2} + v_{0,8}}{2} \right)) \dots \dots \text{Persamaan(3.6)}$$

dengan :

V : Kecepatan rata-rata pada vertikal kedalaman (m/det)

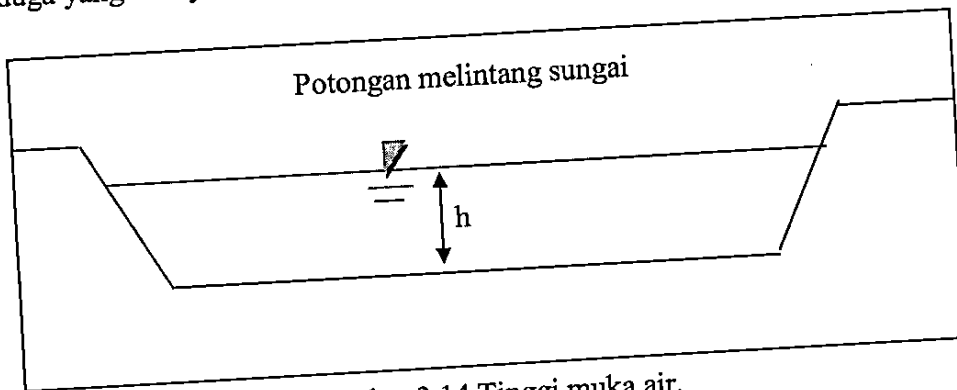
$V_{0,2}$: Kecepatan pada 0,2 kedalaman (m/det)

$V_{0,6}$: Kecepatan pada 0,6 kedalaman (m/det)

$V_{0,8}$: Kecepatan pada 0,8 kedalaman (m/det)

2. Pengukuran tinggi muka air

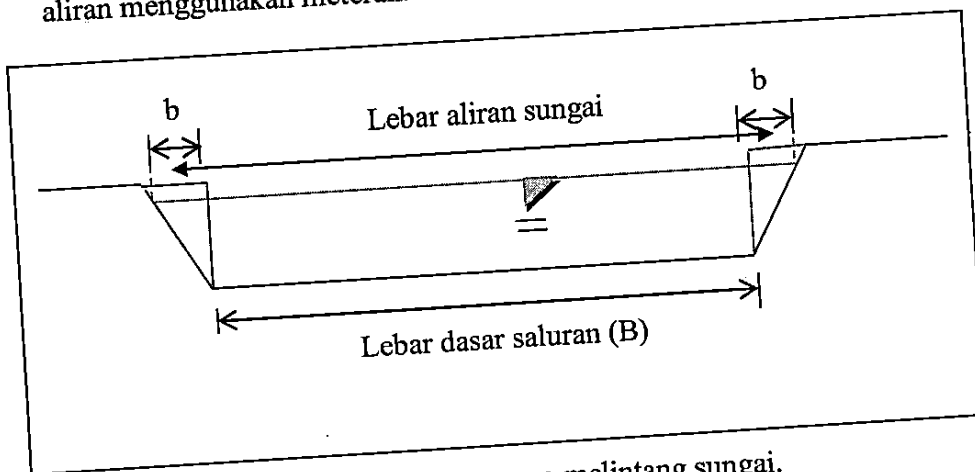
Pengukuran luas penampang memerlukan tinggi muka air, pengukuran tinggi muka air dapat dilakukan dengan bermacam-macam alat tergantung dari kondisi aliran sungai yang akan diukur, salah satunya tongkat/papan duga yang sisinya terdapat rambu ukur.



Gambar 3.14 Tinggi muka air.

3. Pengukuran lebar aliran

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 aliran menggunakan meteran.



Gambar 3.15 Penampang melintang sungai.

4. Pengukuran debit

Debit (*discharge*), atau besarnya aliran sungai (*stream flow*) adalah volume aliran yang mengalir melalui suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Biasanya debit dinyatakan dalam satuan m^3/det atau liter/det. Aliran adalah pergerakan air di dalam alur sungai. Pada dasarnya pengukuran debit adalah pengukuran luas penampang, kecepatan aliran, dan tinggi muka air. Rumus yang umumnya digunakan adalah:

$$Q = A.V \text{Persamaan (3.7)}$$

Keterangan:

Q = debit (m^3/det).

A = luas penampang (m^2).

V = kecepatan aliran rata-rata(m/det).

Nilai A (luas penampang aliran di asumsikan berbentuk trapesium kerana faktor keamanan pada saat penelitian) diperoleh menggunakan persamaan:

$$A = \frac{(b + h) \times h}{2} + (b - h) \times h$$

Persamaan (3.8)

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

C. Klasifikasi Distribusi Ukuran Butir (*Grain size analysis*)

Analisis butiran merupakan dasar tes laboratorium untuk mengidentifikasi tanah dalam sistem klasifikasi teknik. Sedangkan analisis saringan agregat adalah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian persentase digambarkan dalam grafik pembagian butir (SNI 03-1968-1990). 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, timbangan untuk menimbang sampel yang tertahan di setiap saringan.

Agregat adalah butiran mineral alami, cara membedakan jenis agregat yang paling banyak dilakukan adalah dengan didasarkan pada ukuran butirnya. Agregat yang mempunyai ukuran berbutir besar disebut agregat kasar dan agregat yang berbutir halus disebut agregat halus. Dalam pelaksanaannya di lapangan umumnya agregat dikelompokkan menjadi 3 kelompok (Tjokrodinuljo, 2007), yaitu sebagai berikut :

- a. Batu, untuk ukuran butiran 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.

Menurut Rosgen (1996), jenis dan ukuran partikel penyusun dasar sungai dibedakan menjadi patahan (≥ 2048 mm), batu besar (256 mm sampai 2048 mm),

batu (64 mm sampai 256mm), kerikil (2 mm sampai 64 mm), pasir (0,062 sampai 2 mm), lempung/lumpur ($\leq 0,062$ mm). Setiap tanah memiliki grafik tertentu karena antara tanah yang satu dengan yang lainnya memiliki butir-butir yang ukuran, bentuk dan distribusinya tidak pernah sama. Cara menentukan gradasi adalah:

1. Analisis Saringan

Menurut Muntohar (2006), penyaringan merupakan metode yang biasanya secara langsung untuk menentukan ukuran partikel dengan didasarkan pada batas batas bawah ukuran lubang saringan yang digunakan, batas terbawah dalam saringan adalah ukuran terkecil untuk partikel pasir. Dalam analisis saringan, sejumlah saringan yang memiliki ukuran lubang berbeda beda disusun dengan ukuran yang terbesar diatas yang kecil. Contoh tanah yang akan diuji dikeringkan dalam *oven*, gumpalan dihancurkan dan contoh tanah akan lolos melalui susunan saringan setelah saringan digetarkan. Tanah yang tertahan pada masing masing saringan ditimbang dan selanjutnya dihitung pesentase dari tanah yang tertahan pada saringan tersebut. Bila W_i adalah berat tanah yang tertahan pada saringan ke $-i$ (dari atas susunan saringan) dan W adalah berat tanah total, maka presentase berat yang tertahan adalah :

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

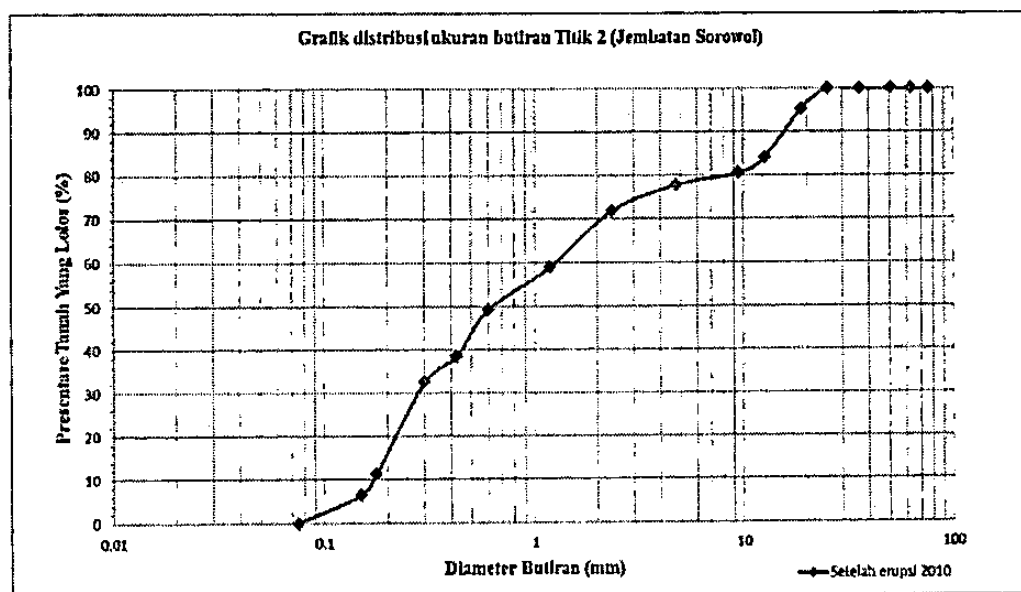
Dersamaan (3.0)

Tabel 3.2 Pengujian analisa saringan agregat halus dan kasar

Saringan	Ukuran Butiran (mm)	Berat Tertahan Saringan (gr)	% Tertahan (gr)	% tertahan Komulatif (gr)	% Lolos Komulatif
76,2 (3")	76,2				
63,5 (2 1/2")	63,5				
50,8 (2")	50,8				
36,1 (1 1/2")	36,1				
25,4 (1")	25,4				
19,1 (3/4")	19,1				
12,7 (1/2")	12,7				
9,52 (3/8")	9,52				
No. 4	4,75				
No. 8	2,35				
No. 20	1,18				
No. 30	0,6				
No. 40	0,425				
No. 50	0,3				
No. 80	0,177				
No. 100	0,15				
No. 200	0,075				
Pan					

Sumber: (SNI 03-1968-1990)

Kemudian hasilnya digambarkan pada grafik prosentase partikel yang lebih kecil dari 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 3.16.



1. Cara pengujian di laboratorium:

a. Alat yang digunakan :

1. Satu set ayakan standar, berserta alas (pan) dan penutup.
2. Alat pengetar.
3. Timbangan.
4. Sikat baja/sikat bulu.

b. Prosedur pengujian

1. Ayakan dibersihkan dengan menggunakan sikat baja (untuk diameter saringan yang lebih besar) dan sikat bulu (untuk diameter saringan yang lebih kecil).
2. Berat masing-masing saringan kosong ditimbang.
3. Saringan satu dengan yang lain disusun menurut ukuran, mulai dari saringan terkecil (pan yang tidak berlubang) sampai ukuran yang terbesar dibagian paling atas.
4. Contoh sampel (yang sudah dikeringkan dalam oven) dimasukkan ke dalam saringan paling atas dan ditutup.
5. Susunan saringan Di tempatkan ke alat pengetar dan getarkan selama kurang lebih 10 menit.
6. Masing-masing saringan ditimbang yang berisi sampel dan hitung berat sampel masing-masing saringan.

2. Cara perhitungan analisis distribusi ukuran butir sedimen

A. Analisis data sudah maka dipersiapkan formulir pengujian

Tabel 3.3 Contoh formulir pengujian (Indrawahyuni, 2008).

Proyek	:		Contoh No :	
Lokasi	:		Kedalaman :	
Jenis Tanah	:			
Berat Tanah Kering yang diuji, W	:			gram
Petugas	:		Tanggal	:
Diperiksa	:		Tanggal	:
Menyetujui	:		Tanggal	:

Nomor saringan	Diameter lubang saringan (mm)	Berat tanah yang tertahan saringan	% berat tanah tertahan saringan	% kumulatif dari tanah yang tertahan	% tanah yang lolos saringan
(1)	(2)	(3)	(4)=[(3)/W]x100 %	(5)	(6)=100-(5)
Berat Total W _t					

a. Berat tertahan sampel (*gr*) diperoleh dari hasil penimbangan pada masing-masing saringan.

b. Berat tertahan (%)

$$Berat\ tertahan(\%) = \frac{Berat\ tertahan(g)}{Berat\ total\ tertahan(g)} \times 100\% \dots\dots\dots (3.10)$$

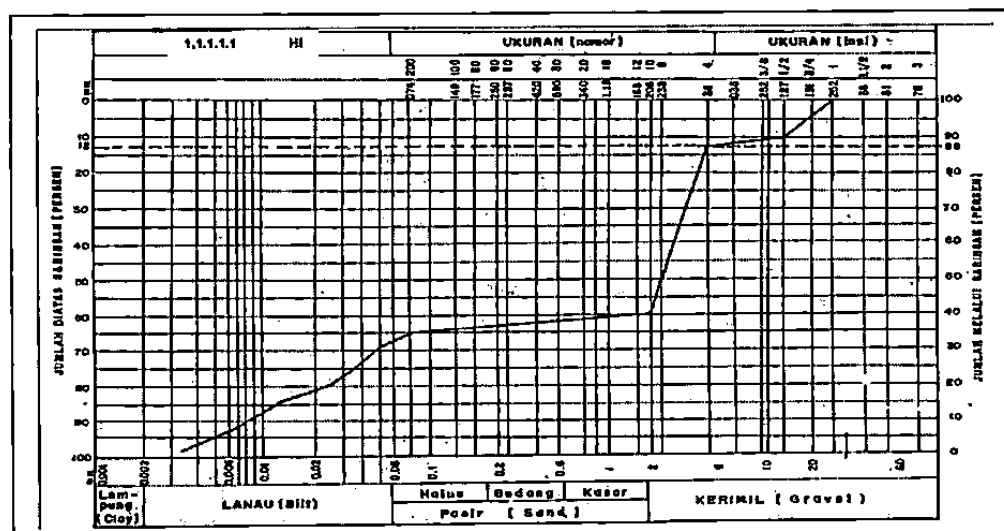
c. Berat komulatif (%)

$$Berat\ komulatif\ sebelumnya\ (\%) + Berat\ tertahan\ yang\ ditinjau\ (3.11)$$

d. Berat komulatif lolos ayakan (%)

$$Berat\ komulatif\ lolos\ ayakan\ (\%) = 100\% - berat\ komulatif\ (\%) (3.12)$$

e. Gambarkan grafik penyebaran butiran seperti pada gambar 3.17.



Gambar 3.17 Grafik penyebaran butiran (Indrawahyuni, 2011)

- f. Dihitung jumlah tanah yang hilang selama proses pengujian dengan rumus:

$$\frac{W - W_1}{W} \times 100\% \dots\dots\dots \text{Persamaan (3.13)}$$

Keterangan:

W_1 = berat sebelum pengujian.

W = berat setelah pengujian.

D. Porositas Sedimen

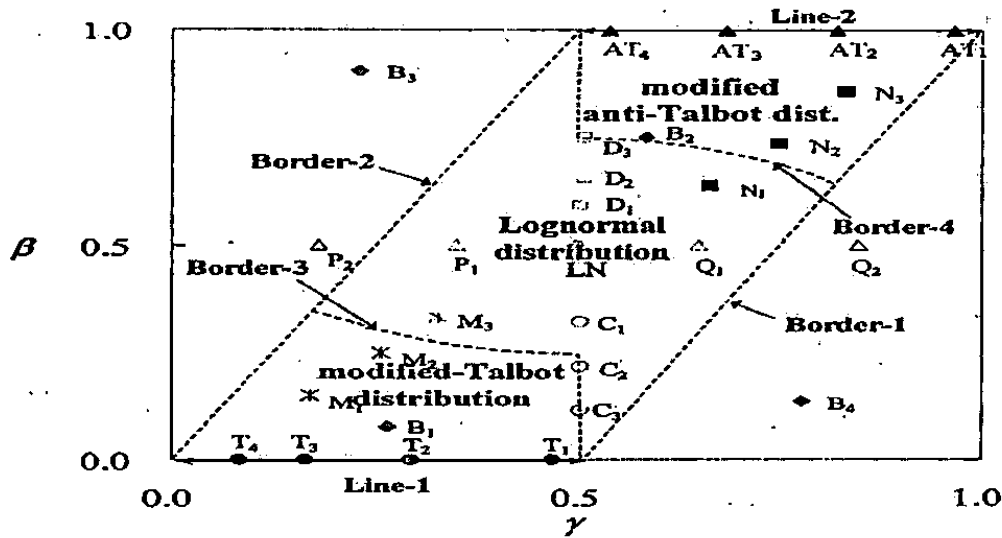
Menurut Sulaiman (2008), untuk menghitung nilai porositas sedimen dasar sungai dilakukan dengan langkah-langkah berikut. Pertama, material dasar di setiap titik yang mewakili bagian atas, tengah dan bawah diayak untuk mendapatkan distribusi ukuran butir. Selanjutnya, jenis distribusi ukuran butir ditentukan berdasarkan nilai parameter γ dan β , yang dihitung dengan persamaan berikut:

$$\gamma = \frac{\log d_{max} - \log d_{50}}{\log d_{max} - \log d_{min}} \dots\dots\dots \text{Persamaan (3.14)}$$

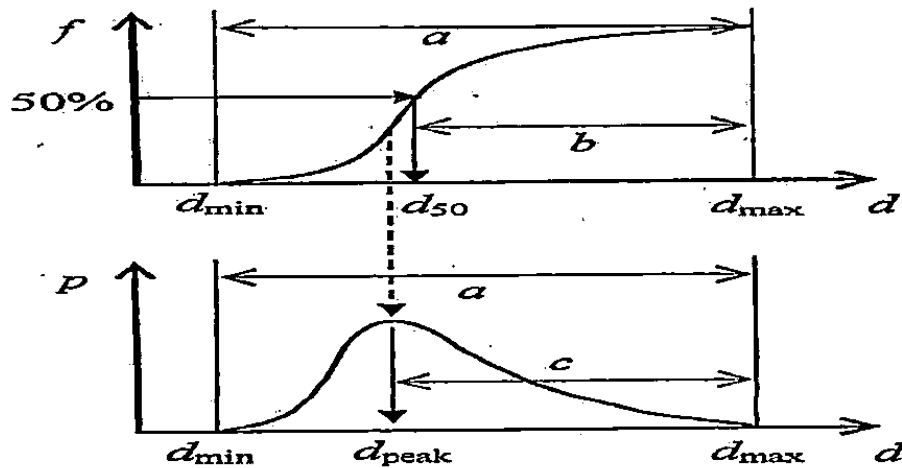
$$\beta = \frac{\log d_{max} - \log d_{peak}}{\log d_{max} - \log d_{min}} \dots\dots\dots \text{Persamaan (3.15)}$$

Selanjutnya dari persamaan (3.14) dan (3.15) diperoleh nilai (...) yang hasilnya diketahui dari grafik hubungan antara γ dan β pada gambar (3.18),

Andak distribusi ukuran butiran termasuk Anti talbolt, Metalbolt atau log



Gambar 3.18 Grafik hubungan γ dan β dengan tipe distribusi ukuran



Gambar 3.19 indikasi geometric γ dan β (Sulaiman, 2008)

dengan:

γ dan β = parameter geometrik

d_{max} = diameter maksimal

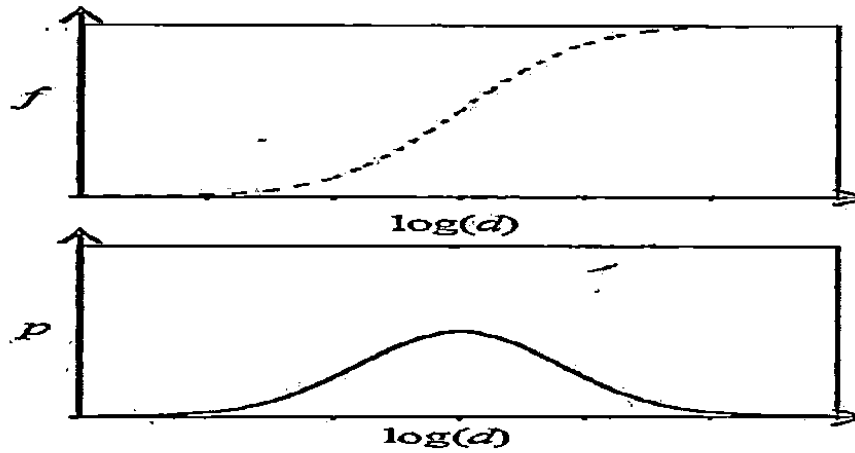
d_{min} = diameter minimal

d_{peak} = ukuran butir puncak

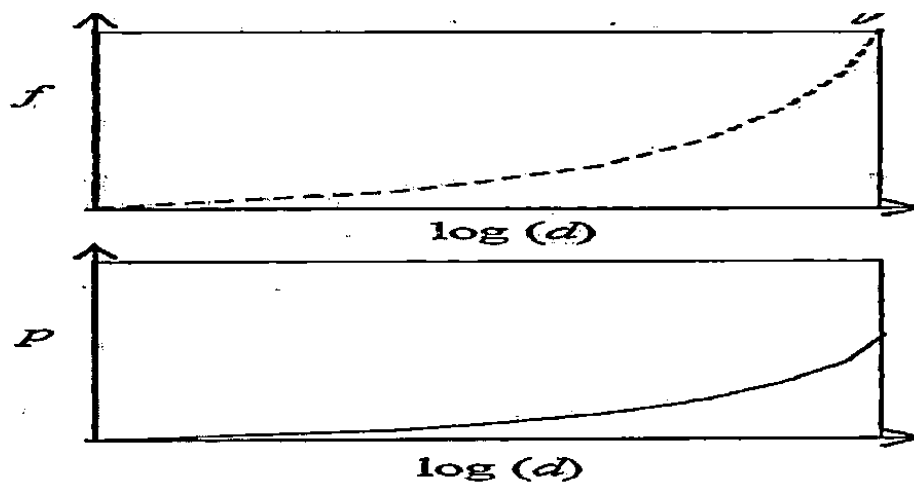
d_{50} = 50 % populasi sampel yang di amati

Setelah nilai-nilai γ dan f diketahui, jenis distribusi ukuran butir dapat

ditentukan dengan cara di gambar di atas yang disajikan oleh Sulaiman (2008)



Gambar 3.20 Diagram tipe log normal distribusi (Sulaiman, 2008).



Gambar 3.21 Diagram tipe Talbot distribusi (Sulaiman, 2008).

Selanjutnya, nilai porositas dihitung dengan persamaan berikut:

1. Distribusi lognormal

$$\sigma_1^2 = \sum_{j=1}^N (Ind_j - Ind)^2 P_{sj} \dots \dots \dots \text{Persamaan (3.16)}$$

Dengan ketentuan :

$$\gamma = (0,1561 \text{ jika } 1,5 < \sigma) \dots \dots \dots \text{Persamaan (3.16 a)}$$

$$\gamma = (0,0465\sigma) + (0,2258 \text{ jika } 1,25 < \sigma < 1,5) \dots \dots \dots \text{Persamaan (3.16 b)}$$

$$\gamma = (-0,141\sigma) + (0,3445 \text{ jika } 1 < \sigma < 1,25) \dots \dots \dots \text{Persamaan (3.16 c)}$$

$$\gamma = (-0,105\sigma) + (0,3088 \text{ jika } 0,75 < \sigma < 1,0) \dots \dots \dots \text{Persamaan (3.16 d)}$$

$$\gamma = (-0,1871\sigma) + (0,2698 \text{ jika } 0,5 < \sigma < 0,75) \dots \dots \dots \text{Persamaan (3.16 e)}$$

dengan:

σ = standar deviasi

d = diameter butir

j = kelas ukuran butir

ps_j = proporsi kelas j

γ = porositas

Tipe distribusi ukuran butir log normal adalah yang sering terjadi pada kondisi sungai yang masih alamiah. Dan material dasar sungai umumnya didominasi oleh pasir dan material halus.

2. Distribusi tallbot

$$n_T(x\%) = \frac{\ln(f(D_{x\%}))}{\ln\left(\frac{\log D_{x\%} - \log D_{\min}}{\log D_{\max} - \log D_{\min}}\right)} \dots \text{Persamaan (3.17)}$$

$$n_T = \frac{n_T(16\%) + n_T(25\%) + (50\%) + n_T(75\%) + n_T(85\%)}{5} \dots \text{Persamaan (3.17 a)}$$

Dengan ketentuan:

$$100 < d_{\max}/d_{\min} = \gamma = 0,0125 n_T + 0,3 \dots \text{Persamaan (3.17b)}$$

$$100 \leq d_{\max}/d_{\min} = \gamma = 0,0125 n_T + 0,3 \dots \text{Persamaan (3.17 b)}$$

$$d_{\max}/d_{\min} 1000 \geq \gamma = 0,0125 n_T + 0,15 \dots \text{Persamaan (3.17 c)}$$

Dengan:

$f(d)$ = persen kumulatif butiran halus

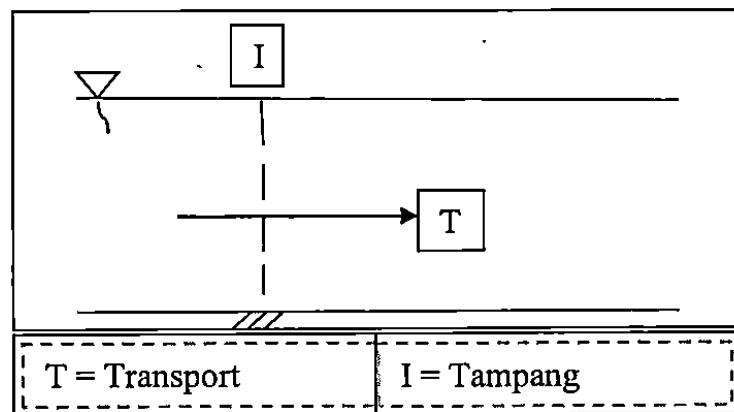
n_T = angka Talbot

Tipe distribusi M Talbot sering terjadi di sungai vulkanik di mana material dasar sungai umumnya didominasi oleh material kasar.

E. Transport Sedimen

Angkutan sedimen atau *transport sediment* merupakan suatu peristiwa terangkutnya material oleh aliran sungai. Sungai-sungai membawa sedimen dalam setiap alirannya. Bentuk, ukuran dan beratnya partikel material tersebut akan menentukan jumlah besaran angkutan sedimen. Angkutan sedimen dalam penelitian ini adalah angkutan sedimen dasar (*bed load*) dan diperoleh dengan menggunakan persamaan Einstein (1950).

Menurut Kironoto, (1997) banyaknya transport sedimen (T) dapat dikarenakan dari perpindahan tempat netral sedimen yang melalui suatu tampang melintang selama periode waktu tertentu. Pengetahuan transport sedimen untuk mengetahui keadaan seimbang, erosi, dan pengendapan.



Gambar 3.22 Transport sedimen

Metode pendekatan yang digunakan untuk mengetahui angkutan sedimen dasar sungai adalah dengan metode Einstein didasarkan pada beberapa konsep yang ditunjang oleh hasil pengamatan laboratorium (eksperimental). Metode pendekatan Einstein didasarkan pada dua konsep dasar, sebagai berikut:

1. Konsep kondisi kritis ditiadakan, karena kondisi kritik untuk awal gerak

2. Angkutan sedimen dasar lebih dipengaruhi oleh fluktuasi aliran yang terjadi dari pada oleh 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 didalam air.

Viskositas merupakan ukuran ketahanan sebuah cairan terhadap deformasi atau perubahan bentuk. Viskositas dipengaruhi oleh temperatur, tekanan, kohesi dan laju perpindahan momentum molekularnya. Viskositas zat cair cenderung menurun dengan seiring bertambahnya kenaikan temperatur, hal ini disebabkan gaya – gaya kohesi pada zat cair bila dipanaskan akan mengalami penurunan dengan semakin bertambahnya temperatur pada zat cair yang menyebabkan berturut-turutnya viskositas dari zat cair tersebut. pengaruh viskositas terhadap temperatur seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 3.5.

Tabel 3.4 Pengaruh viskositas terhadap temperatur

Temperatur (° C)	Viskositas ($\times 10^{-3}$ N.s/m ²)
0	$1,79 \times 10^{-3}$
5	$1,51 \times 10^{-3}$
10	$1,31 \times 10^{-3}$
15	$1,14 \times 10^{-3}$
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	$4,04 \times 10^{-4}$
80	$3,54 \times 10^{-4}$
90	$3,15 \times 10^{-4}$
100	$2,82 \times 10^{-4}$

Langkah Untuk dapat menghitung angkutan sedimen dasar perlu menentukan ukuran butiran d_{35} dan d_{65} , mengetahui gradasi ukuran butiran hasil analisis saringan pada Tabel 3.6 dibawah ini.

Tabel 3.5 Contoh gradasi ukuran butiran hasil analisis saringan

Interval ukuran butiran (mm)	Ukuran butiran rata-rata (mm)	% Material
19,1-4,75	11,517	18% = 0,18
2,35-0,425	1,138	58% = 0,58
0,3-0,075	0,1755	24% = 0,24

Sumber: Hasil Analisis Penelitian (2012)

Kemudian angkutan sedimen dasar dapat dihitung menurut persamaan

3.18 dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

1. Kecepatan gesek akibat kekasaran butiran

$$v = \sqrt{g \cdot R_b' \cdot S} \dots \dots \dots \text{Persamaan (3.18)}$$

dengan:

v = kecepatan gesek akibat kekasaran butiran

g = gravitasi

R_b' = jari-jari hidraulik akibat pengaruh kekasaran butiran (*grain roughness*)

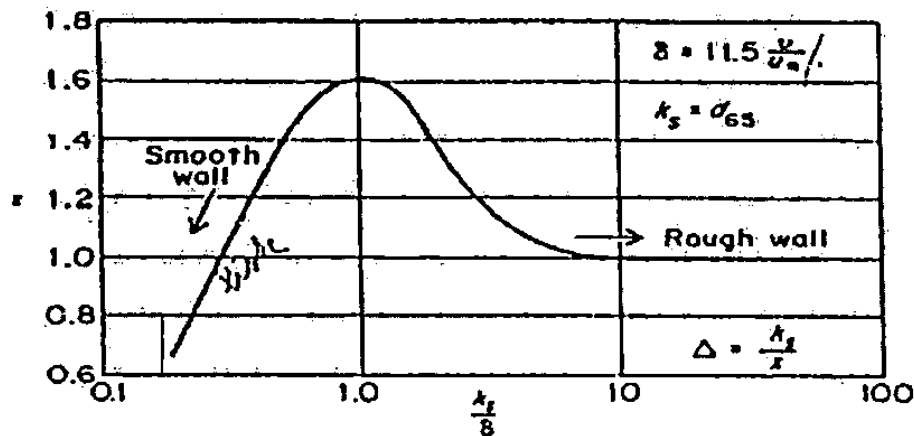
S = kemiringan dasar saluran

2. Tebal lapisan kekentalan (*sub-viscous*)

$$\delta' = \frac{11,6 \cdot v}{\dots \dots \dots \text{Persamaan (3.19)}}$$

$$\frac{ks}{\delta'} = \frac{d_{65}}{\delta'} \dots \dots \dots \text{Persamaan (3.19 a)}$$

Untuk ks dari Gambar 2.22, diperoleh nilai v



Gambar 3.23 Faktor koreksi dalam persamaan distribusi kecepatan logaritmik.

$$\Delta = \frac{d_{65}}{\delta'} \dots \dots \dots \text{Persamaan (3.19 b)}$$

$$\frac{\Delta}{\delta'} = (\dots) < \text{atau} > 1,8 \rightarrow x \dots \dots \dots \text{Persamaan (3.19 c)}$$

$$\frac{\Delta}{\delta'} \quad X = 0,77 \times \Delta \text{ untuk } \frac{\Delta}{\delta'} > 1,8 \dots \dots \dots \text{Persamaan (3.19 d)}$$

$$X = 1,39 \times \delta' \text{ untuk } \frac{\Delta}{\delta'} < 1,8 \dots \dots \dots \text{Persamaan (3.19 e)}$$

Sehingga nilai untuk (X) adalah :

$$X = 0,77 \Delta \text{ untuk } \Delta / \delta' > 1,8$$

$$X = 1,39 \delta' \text{ untuk } \Delta / \delta' < 1,8$$

dengan:

δ' = tebal lapisan sub-viscous

ν = viskositas

u_*' = kecepatan gesek akibat kekasaran butiran

k_s = diameter butiran

Δ = kekasaran dasar saluran

X = karakteristik ukuran butiran tidak seragam

3. Kecepatan aliran rata-rata, dihitung dengan persamaan logaritmik, untuk menentukan nilai x di peroleh dari Gambar 3.24:

$$V = 5,75 \cdot u \cdot \log\left(12,27 \frac{Rb'x}{ks}\right) \dots \dots \dots \text{Persamaan (3.20)}$$

dengan:

V = kecepatan aliran rata-rata

u = kecepatan gesek akibat kekasaran butiran

k_s = diameter butiran

4. Intensitas aliran

$$\Psi = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{d^{35}}{S \cdot Rb'} = 1,65 \frac{d^{35}}{S \cdot Rb'} \dots \dots \dots \text{Persamaan (3.21)}$$

dengan:

Ψ = intensitas aliran

d = diameter butiran

S = kemiringan dasar saluran

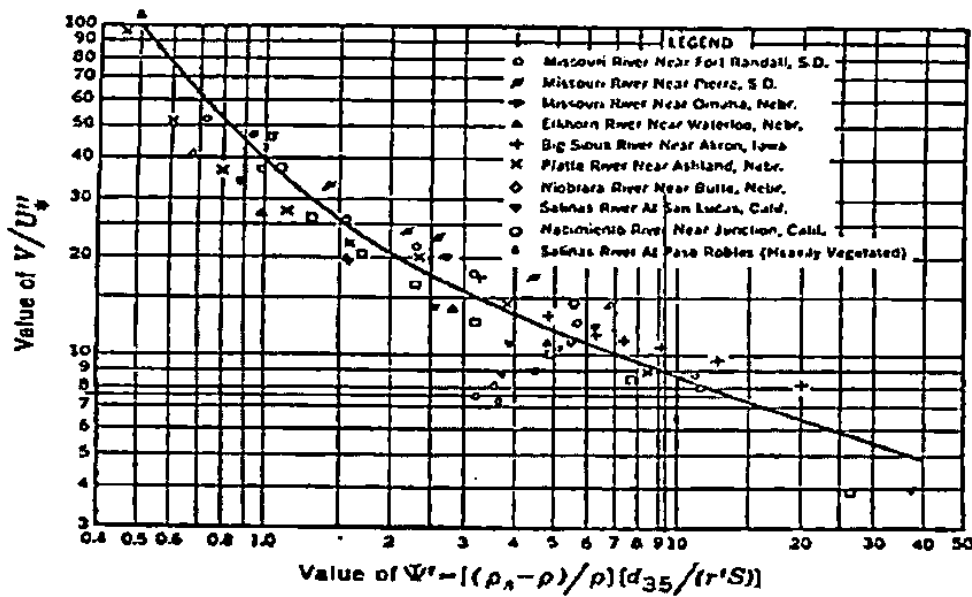
Rb' = jari-jari hidraulik akibat pengaruh kekasaran butiran

γ_s = berat spesifik air

γ = berat spesifik sedimen

Untuk ψ diperoleh berdasarkan Gambar 3.24 (Enstein dan Barbosa,1952)

diperoleh nilai $\frac{V}{u}$:



Gambar

3.24 Grafik Einstein dan Barbarossa(1952)

$$\frac{V}{U'} = \rightarrow U' \dots\dots\dots \text{Persamaan (3.22)}$$

dengan:

U' = kecepatan gesek akibat konfigurasi dasar

V = kecepatan aliran rata-rata

5. Jari-jari hidraulik akibat konfigurasi dasar

$$Rb'' = \frac{(U')^2}{gS} \dots\dots\dots \text{Persamaan (3.23)}$$

Jari-jari hidraulik total diperoleh:

$$Rb = Rb' + Rb'' \dots\dots\dots \text{Persamaan (3.23 a)}$$

$$nL = \frac{bh}{L}$$

$$\dots\dots\dots \text{Persamaan (3.23 b)}$$

6. Kontrol hitungan debit

$$Q = AV = (b h U') \dots\dots\dots \text{Persamaan (3.24)}$$

dengan:

Q = debit

A = lebar saluran sungai

V = kecepatan

b = lebar saluran sungai

h = tinggi jari-jari hidraulik terhadap aliran

U' = kecepatan gesek akibat konfigurasi dasar

Dengan berdasarkan nilai Rb' yang benar, selanjutnya dapat dilakukan hitungan angkutan sedimen menurut Einstein dalam (*t/hours*) adalah sebagai berikut:

$$\Psi, ' = \frac{\gamma s - \gamma}{\gamma} = \frac{d}{S.Rb'} \dots\dots\dots \text{Persamaan (3.25)}$$

dengan:

Ψ = intensitas aliran

d = ukuran butiran rata-rata

S = Kemiringan dasar saluran

Rb' = jari-jari hidraulik akibat pengaruh kekasaran butiran

Untuk ukuran fraksi butiran, $d = d \times 10^{-3} m$

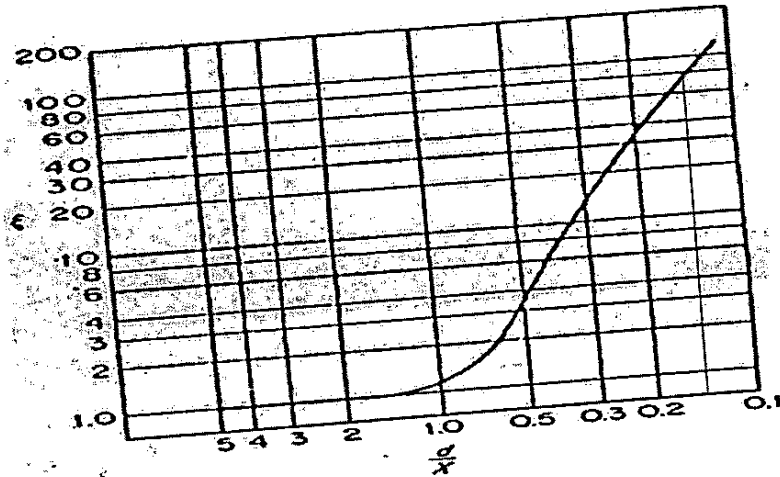
$$\frac{d}{x} = \dots\dots\dots \text{Persamaan (3.26)}$$

Keterangan:

X = nilai karakteristik ukuran butir tidak seragam.

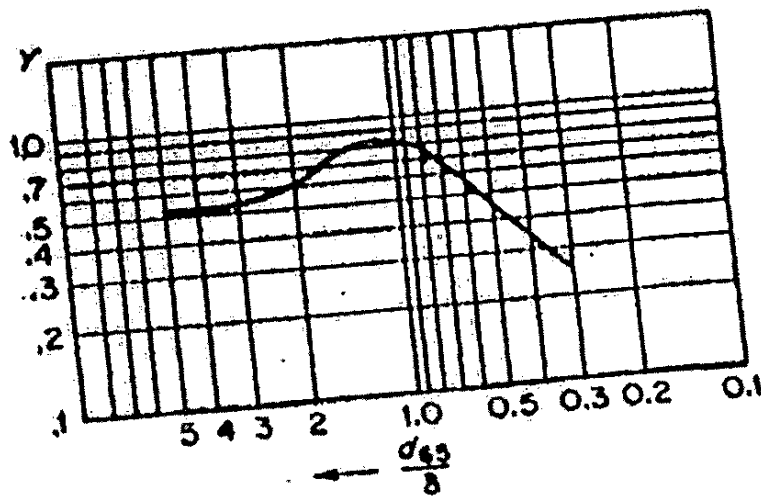
$\Delta (d_n)$ = kekasaran diameter butiran.

Untuk $\frac{d}{x}$ dari Gambar 3.25, diperoleh nilai *hiding factor*, ξ



Gambar 3.25 Grafik nilai *hiding factor*, ξ

Untuk $\frac{d_{65}}{x}$ dari Gambar 3.26, diperoleh nilai koreksi gaya angkat, Y



Gambar 3.26 Grafik nilai koreksi gaya angkat, Y

Intensitas aliran yang telah dikoreksi dapat diperoleh:

$$\left(\frac{\beta}{\beta_x}\right)^2 = \left(\frac{\log(10,6)}{\log(10,6X/\Delta)}\right)^2 \dots\dots\dots \text{Persamaan (3.27)}$$

$$\psi'_{01} = \xi_1 Y_1 \left(\frac{\beta}{\beta_x}\right)^2 \Psi d \dots\dots\dots \text{Persamaan (3.28)}$$

dengan:

$\Psi_{,i}'$ = intensitas aliran yang telah dikoreksi

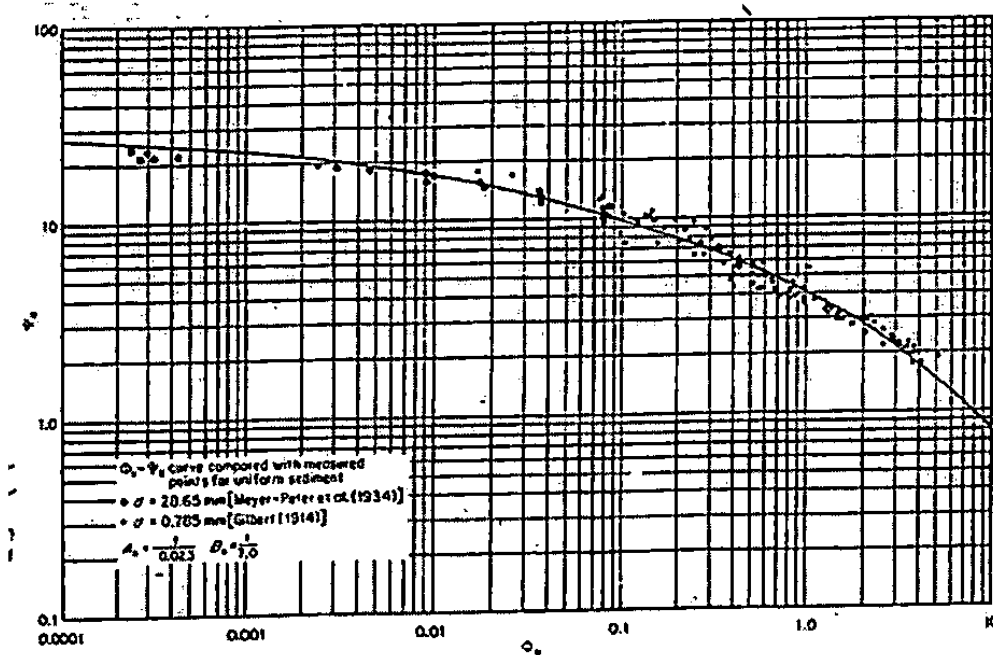
ξ = nilai *hiding factor*

Y = nilai koreksi gaya angkat

$\Psi_{,}'$ = intensitas aliran berdasarkan nilai R_b' yang benar

Untuk $\Psi_{,}' = (..)$ dari Gambar 3.27 (Grafik Einstein) diperoleh nilai $\theta_{,}$. Jika nilai

$\theta_{,}$ berada di luar kurva maka dianggap nilai $\theta_{,} = 0,0$



Gambar 3.27 Grafik Einstein

7. Selanjutnya besar angkutan sedimen suspensi untuk fraksi butiran ukuran d_1 adalah:

$$(i_b q_b)_1 = i_b \Phi_{o1} \rho_s (g D_1)^{3/2} \left(\frac{\rho - \rho_s}{\rho} \right)^{1/2} \dots\dots\dots \text{Persamaan (3.29)}$$

Dengan prinsip yang sama dapat dihitung besar angkutan sedimen dasar untuk

$$(i_b q_b)_1 = i_b \Phi_{o2} \rho_s (g d_2)^{3/2} \left(\frac{\rho - \rho_s}{\rho} \right)^{1/2} \dots\dots\dots \text{Persamaan (3.30)}$$

$$(i_b q_b)_1 = i_b \Phi_{o3} \rho_s (g d_3)^{3/2} \left(\frac{\rho - \rho_s}{\rho} \right)^{1/2} \dots\dots\dots \text{Persamaan (3.31)}$$

Keterangan:

i_b = fraksi kelas ukuran i dalam material dasar.

q_b = angkutan muatan dasar dalam berat per satuan waktu dan lebar.

g = percepatan gravitasi.

d_i = diameter ukuran butir kelas i .

ρ = density air.

ρ_s = density sedimen.

ϕ = intensitas angkutan.

Perhitungan selengkapnya untuk menghitung angkutan sedimen dasar sungai diperlihatkan pada Tabel 3.6 berikut ini:

Tabel 3.. Perhitungan Angkutan Sedimen

	d (mm)	i_b (%)	R_b' (m)	$\Psi,'$	d/x	$\xi,$	Y	Ψ, i'	$\theta.$	$(i_b q_b)$ (kg/m.det)
1										
2										
3										
Σ										

Contoh table perhitungan angkutan sedimen dapat di lihat dibawah ini :

Tabel 3.8 Perhitungan angkutan sedimen (Kironoto, 1997).

i	d_n (mm)	I_b (%)	R'_b (m)	Ψ'_i	d_i/X	ξ_i	Y	Ψ'_{i^*}	Φ_{*i}	$(i_b q_b)_i$ (kg/m.det)
1	0,0935	0,40	0,427	4,40	0,120	105	0,3	53,1	0,00	0,0
2	0,1875	0,45	0,427	8,88	0,242	23	0,3	23,3	0,001	$12,3 \cdot 10^{-6}$
3	0,3750	0,15	0,427	17,75	0,483	4	0,3	8,1	0,200	$2320 \cdot 10^{-6}$
									Σ	$2.33 \cdot 10^{-3}$

Jadi besar angkutan sedimen dapat dihitung dengan persamaan 3.32:

$$q_B = (\Sigma i_b q_b) \times 60 \text{detik} \times 60 \text{menit} \times 24 \text{jam} \times B \dots\dots\dots \text{Persamaan (3.32)}$$

dengan:

q_B = jumlah angkutan sedimen dasar sungai per hari (ton/hari)

$(\Sigma i_b q_b)$ = besar angkutan sedimen setiap fraksi