

BAB V

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan dari pengambilan data primer di lapangan selanjutnya dilakukan analisa hidraulika yang terjadi pada pias Sungai Progo yang diteliti. Hal ini dilakukan dalam upaya mendapatkan informasi tentang elevasi muka air, kecepatan aliran, volume sedimen yang dibawa, dan kondisi dasar Sungai Progo pada pias Jembatan Kebon Agung I sampai Kebon Agung II.

Analisa pada studi ini dibuat dari penelusuran dan pengambilan langsung di lapangan dari potongan melintang dasar sungai dengan menggunakan alat *Echo Sounder*. Analisa yang dilakukan dengan mengambil data kedalaman, sampel sedimen pada tiap-tiap pias dan mengukur kecepatan aliran.



Gambar 5. 1 Pias Kebon Agung II dan Kebon Agung I

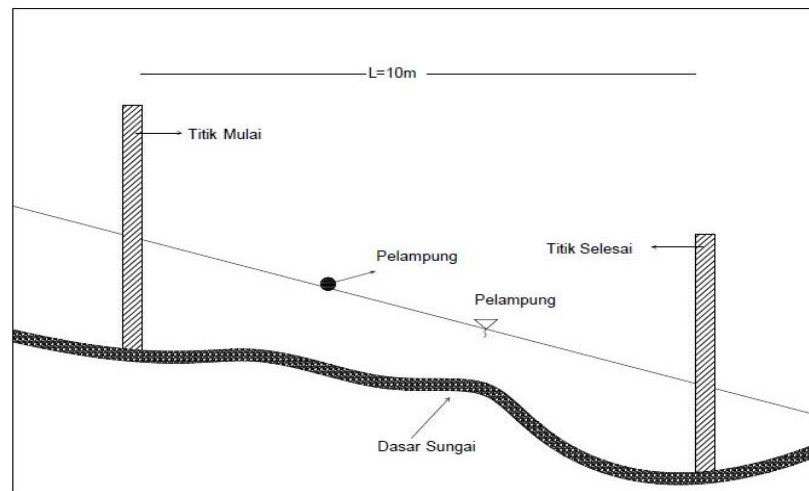
Sumber :Google Earth

A. Hidrometri Sungai

Semua data yang peroleh tidak hanya menggunakan metode analisis juga dibantu dengan beberapa *software* demi melengkapi data yang ada diantaranya Aquaveo Surface Water Modeling System v10.1.8 dan ArcGIS 10.1. Contoh perhitungan akan diambil dari satu data tinjau di pias Jembatan Kebon Agung II sebagai Hulu - Jembatan Kebon Agung I sebagai hilir

1. Perhitungan Kecepatan Aliran

Pengukuran hidrometri pada penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan data kecepatan aliran (v), dan debit aliran (Q). Data pengukuran di Sungai Progo Pias Jembatan Kebon Agung I dan Pias Kebon Agung II ditampilkan dalam Tabel 5.1, Tabel 5.2 dan rata-rata kecepatan ditampilkan dalam Tabel 5.3



Gambar 5. 2 Pengambilan data kecepatan aliran di Jembatan Kebon Agung I

$$\text{Kecepatan Aliran, } v = \frac{L}{t} \dots\dots\dots(5.1)$$

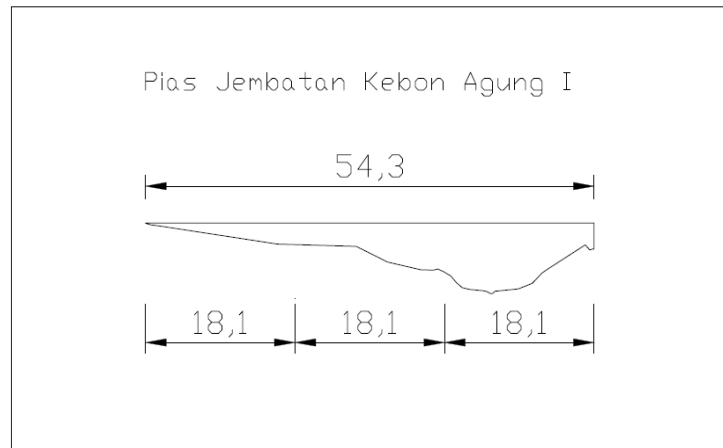
Keterangan :

v = Kecepatan aliran (m/detik)

L = Jarak (m)

t = Waktu (detik)

- a. Perhitungan Kecepatan Aliran Pias Jembatan Kebon Agung I (11 april 2017) :



Gambar 5. 3 Penampang Melintang kedalaman Pias Kebon Agung I

Sumber : Hasil Analisis Penelitian 2017

$$\text{Aliran sisi 1} = \left(\frac{10}{19,3} + \frac{10}{12,07} + \frac{10}{15,21} \right) = \left(\frac{2,004}{3} \right) = 0,67 \text{ m/detik}$$

$$\text{Aliran tengah} = \left(\frac{10}{8,13} + \frac{10}{6,94} + \frac{10}{8} \right) = \left(\frac{3,920}{3} \right) = 1,31 \text{ m/detik}$$

$$\text{Aliran sisi 2} = \left(\frac{10}{11,25} + \frac{10}{6,98} + \frac{10}{7,34} \right) = \left(\frac{3,68}{3} \right) = 1,23 \text{ m/detik}$$

$$v \text{ Permukaan} = \left(\frac{0,67 + 1,30 + 1,227}{3} \right)$$

$$= 1,07 \text{ m/detik}$$

Setelah kecepatan permukaan sungai diketahui kemudian dikalikan faktor koreksi C untuk memperoleh kecepatan yang mewakili penampang yang ditinjau. Nilai C yang dipakai adalah 0,90 diambil dari rata-rata dari nilai 0,85-0,95, (dipakai 0,90)

$$V \text{ rata-rata Aliran} = 1,065 \times 0,90$$

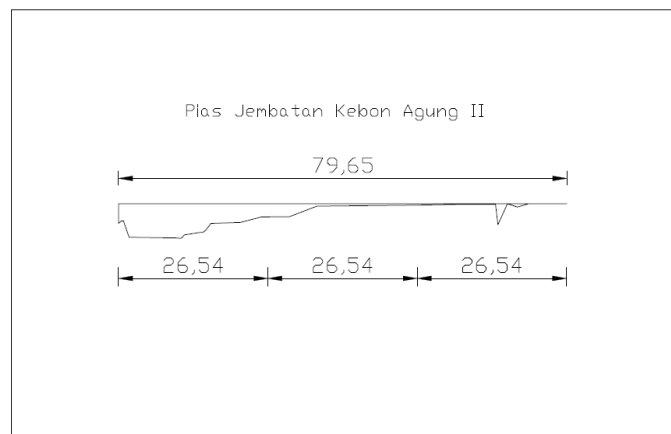
$$= 0,959 \text{ m/detik.}$$

Tabel 5. 1 Hasil pengukuran kecepatan aliran di Pias Kebon Agung

Kebon Agung I	Kecepatan m/s
Sisi 1 (10 m)	0,67
Tengah (10 m)	1,30
Sisi 2 (10 m)	1,227
Rata-rata	1,065
V rata-rata aliran	0,959

Sumber : Hasil Analisis Penelitian 2017

- b. Perhitungan Kecepatan Aliran Pias Jembatan Kebon Agung II (11 april 2017) :



Gambar 5. 4 Penampang Melintang kedalaman Pias Jembatan Kebon Agung II

Sumber : Hasil Analisis Penelitian 2017

$$\text{Aliran sisi 1} = \left(\frac{10}{9,08} + \frac{10}{10,23} + \frac{10}{11,4} \right) = \left(\frac{4,13}{3} \right) = 0,99 \text{ m/detik}$$

$$\text{Aliran tengah} = \left(\frac{10}{5,2} + \frac{10}{7,88} + \frac{10}{9,5} \right) = \left(\frac{4,24}{3} \right) = 0,41 \text{ m/detik}$$

$$\text{Aliran sisi 2} = \left(\frac{10}{6} + \frac{10}{7} + \frac{10}{8} \right) = \left(\frac{4,34}{3} \right) = 1,45 \text{ m/detik}$$

$$v \text{ Permukaan} = \left(\frac{0,99 + 0,41 + 1,45}{3} \right)$$

$$= 1,28 \text{ m/detik}$$

Setelah kecepatan permukaan sungai diketahui kemudian dikalikan faktor koreksi C untuk memperoleh kecepatan yang mewakili penampang yang ditinjau. Nilai C yang dipakai adalah 0,90 diambil dari rata-rata dari nilai 0,85-0,95, (dipakai 0,90)

$$\begin{aligned} V \text{ rata-rata Aliran} &= 1,28 \times 0,90 \\ &= 1,15 \text{ m/detik.} \end{aligned}$$

Tabel 5. 2 Hasil pengukuran kecepatan aliran di Pias Jembatan Kebon Agung II (11 April 2017)

Kebon Agung II	Kecepatan m/s
Sisi 1 (10 m)	0,99
Tengah (10 m)	1,41
Sisi 2 (10 m)	1,45
Rata-rata	1,28
V rata-rata aliran	1,15

Sumber : Hasil Analisis Penelitian 2017

2. Perhitungan Debit

Perhitungan debit menggunakan parameter luas, parameter luas telah diketahui dari data batimetri yakni :

$$\text{Luas penampang Kebon Agung I} = 202,06 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas penampang Kebon Agung II} = 146,94 \text{ m}^2$$

$$Q = A \cdot v \dots\dots\dots(5.2)$$

Dengan :

$$A = \text{Luas Penampang}$$

$$v = \text{Kecepatan aliran}$$

a. Perhitungan debit (Q) pias Jembatan Kebon Agung I

$$Q = 202,06 \times 0,96$$

$$= 194,16 \text{ m}^3/\text{s}$$

b. Perhitungan debit (Q) pias Jembatan Kebon Agung II

$$Q = 146,94 \times 1,15$$

$$= 168,981 \text{ m}^3/\text{s}$$

3. Penampang Basah Pada aliran Sungai

a. Pias Jembatan Kebon Agung I

Elevasi ikat diasumsikan sama dengan elevasi kedalaman. Sehingga elevasi yang digunakan pada Pias Jembatan Kebon Agung I adalah +62,5

Tabel 5. 3 Hasil pengukuran di lapangan

DATA OBSERVASI DENGAN SMS		
KEDALAMAN	JARAK (M)	KEDALAMAN- ELEVASI
-0,03	0	62,47
-0,207	0,602	62,293
-0,4066	2,056	62,0934
-2,4045	15,938	60,0955
-2,657	25,495	59,843
-4,431	29,288	58,069
-5,3101	33,33	57,1899
-5,3515	34,874	57,1485
-5,222	35,348	57,278
-5,5153	36,057	56,9847
-6	36,938	56,5
-6,729	37,602	55,771
-7,3431	38,316	55,1569
-7,547	39,212	54,953
-7,671	40,74	54,829
-7,762	41,27	54,738

-8	41,765	54,5
-8	42,0003	54,5
-7,747	42,291	54,753
-6,8521	45,113	55,6479
-5,668	46,8151	56,832
-5,257	48,632	57,243
-2,4861	53,213	60,0139
-3,0623	53,766	59,4377
-2,9434	54,195	59,5566
-3	54,221	59,5
-3	54,228	59,5
-2,9299	54,263	59,5701
-2,9299	54,293	59,5701

Sumber : Hasil Analisis Penelitian 2017

Dari pengukuran di lapangan diperoleh data sebagai berikut :

Kedalaman aliran terdalam	: 7,747 m
Kedalaman rata-rata	: 4,705 m
Lebar dasar saluran	: 54,293 m
Luas Penampang basah, (A)	: 202,06 m ²
Keliling basah saluran, (P)	: 115,02 m

b. Pada aliran Sungai Pias Jembatan Kebon Agung II

Elevasi ikat diasumsikan sama dengan elevasi kedalaman. Sehingga elevasi yang digunakan pada Pias Jembatan Kebon Agung II adalah +75

Tabel 5. 4 Hasil pengukuran di lapangan

DATA OBSERVASI DENGAN SMS		
KEDALAMAN	JARAK	KEDALAMAN-ELEVASI
-3,4	0,505	71,6
-3	0,9122	72
-3	0,947	72
-3	0,969	72
-3,271	1,888	71,729
-5,788	10,457	69,212
-5,9335	10,943	69,0665
-5,999	11,221	69,001

-5,917	11,702	69,083
-5,393	14,405	69,607
-5	14,936	70
-5	15,451	70
-4,628	16,437	70,372
-3,406	21,598	71,594
-3,265	25,387	71,735
-2,3	30,34	72,7
-2,27	35,232	72,73
-0,436	52,59	74,564
-0,272	61,53	74,728
-0,104	66,76	74,896
-0,101	66,97	74,899
-0,049	67,418	74,951
-3,637	69,125	71,363
0	70,866	75
-0,603	72,916	74,397
0	73,199	75
0	73,453	75
0	75,326	75
0	79,619	75
0	79,649	75

Sumber : Hasil Analisis Penelitian 2017

Dari pengukuran di lapangan diperoleh data sebagai berikut :

Kedalaman aliran terdalam : 5,999 m

Kedalaman rata-rata : 2,525 m

Lebar dasar saluran : 79,649 m

Luas Penampang basah, (A) : 146,94 m²

Keliling basah saluran, (P) : 158,52 m

4. Pembuatan Penampang Melintang

Perangkat lunak ini merupakan perangkat pemetaan yang digunakan untuk pembuatan model sungai. Data batimetri lapangan yang telah diexport dari *Echosounder* ke MapSource dipilah berupa koordinat x,y dan kedalaman yang disesuaikan dengan kondisi sebenarnya dengan menggunakan sistem proyeksi koordinat UTM (Universal Transverse Mercator). Adapun langkah pembuatan

model sungai dengan menggunakan *software* Aquaveo Surface Water Modeling System v10.1.8 adalah sebagai berikut :

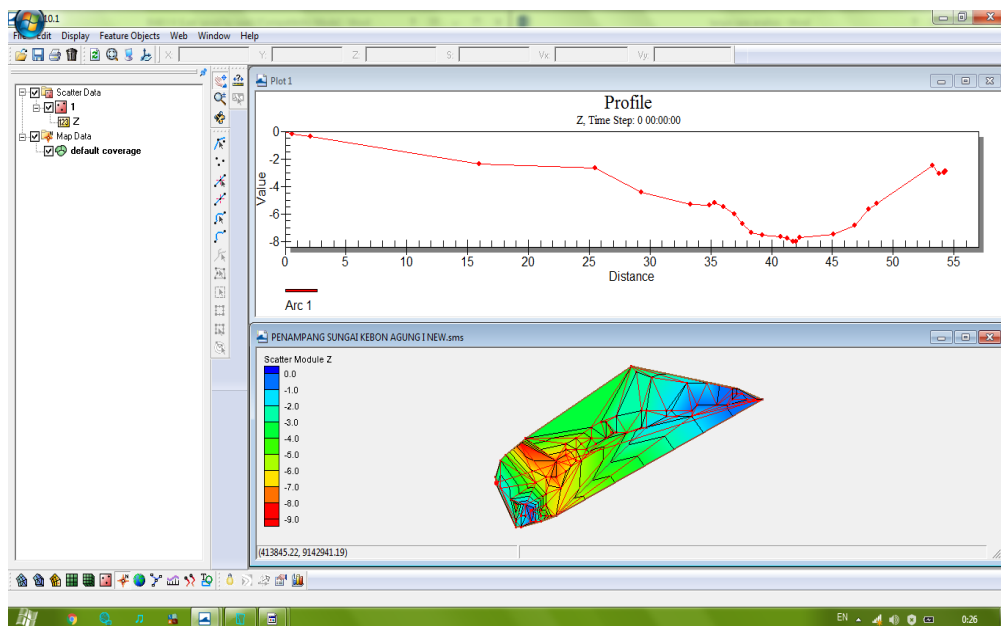
- a. Membuat lembar kerja baru dengan membuka *software*.
- b. Buka data yang telah dipisahkan berupa koordinat x , y dan z untuk kedalaman berbentuk *.txt dengan *File – Open – Use Import Wizard – Next - Finish*.
- c. Masukkan peta yang berasal dari Google Earth yang telah diberikan *marking* dengan *File – Open – *.jpg – Ok* sesuaikan dengan koordinat asli dengan *Provide World Coordinates – Ok* masukkan koordinat sesuai *marking* pada gambar kemudian *Ok*.
- d. Penggabungan dan pembuatan kontur pada setiap titik koordinat dengan *Display Option – Scater – checklist Countour* untuk setting *Countour* dengan *Countour – Countour Method – Color Fill and Linear*.
- e. Lakukan pemotongan melintang pada kontur dengan memilih pada *Statusbar – Icon Map Module* pilih *icon Select Feature Point* lakukan pemotongan.
- f. Analisis *crosssection* pada *MapData – DefaultCoverage* klik kanan pilih *Type – Observation*. Untuk hasil analisis pilih *Display – PlotWizard – ObservationType – Finish*.

Hasil data berupa *crosssection* dengan *software* Aquaveo Surface Water Modeling System v10.1.8 ditunjukkan pada Gambar 5.1 digunakan untuk mengetahui luasan, keliling, kedalaman rata-rata dan kedalaman maksimum penampang basah. Data tersebutlah yang menjadi dasar analisis dengan metode empiris.



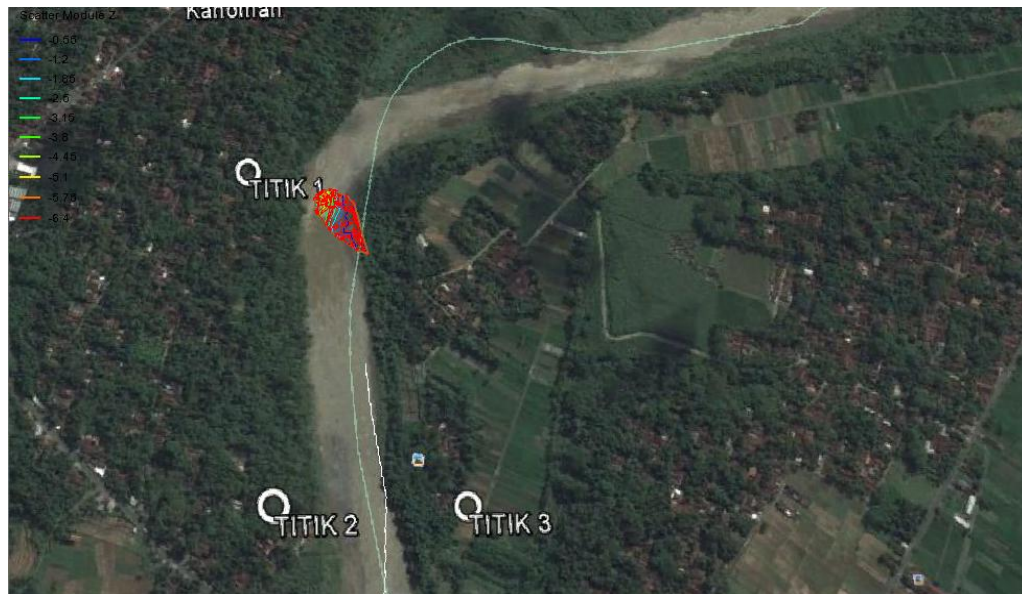
Gambar 5. 5 Lokasi crossing Kebon Agung I

Sumber : Google Earth



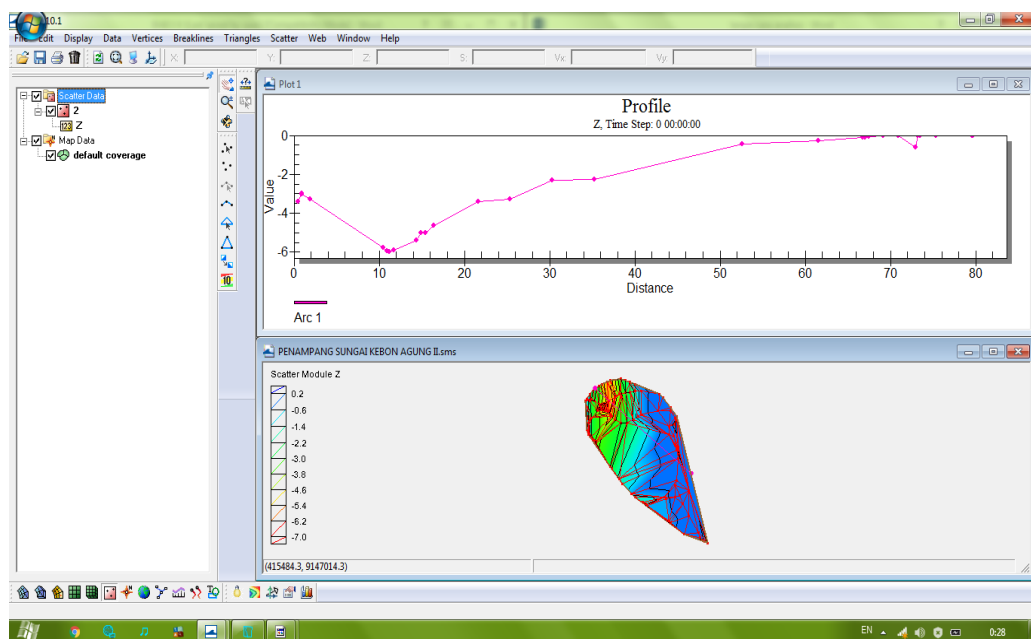
Gambar 5. 6 Cross Section Pias Intake Sapon Menggunakan Aquaveo Surface Water Modeling System v10.1.8.

Sumber : Hasil Analisis Penelitian 2017



Gambar 5. 7 Lokasi Crossing Kebon Agung II

Sumber : Google Earth



Gambar 5. 8 Cross Section Pias Intake Sapon Menggunakan Aquaveo Surface Water Modeling System v10.1.8.

Sumber : Hasil Analisis Penelitian 2017

B. Berat Jenis Sedimen

Berat jenis sedimen didefinisikan secara umum sebagai perbandingan antara berat volume butiran tanah dan berat volume air pada temperatur 4°C (Muntohar, 2009).

Tabel 5. 5 Spesifikasi tanah berdasarkan berat jenis

Jenis Tanah	Berat Jenis
Sand (Pasir)	2,65 – 2,67
Silty sand (Pasir Berlanau)	2,67 – 2,70
Inorganic Clay (Lempung Inorganik)	2,70 – 2,80
Soil with mica or iron	2,75 – 3,00
Gambut	< 2,00
Humus Soil	1,37
Gravel	> 2,70

Sumber : Wesky, 1997

1. Perhitungan Berat Jenis Sedimen pias Kebon Agung I

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

$$G_s = \frac{(40 - 30)}{(87,63 - 30).1 - (86 - 30).1}$$

$$= 2,64$$

2. Perhitungan Berat Jenis Sedimen Pias Jembatan Kebon Agung II

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

$$G_s = \frac{(39,3 - 29,3)}{(87,22 - 30).1 - (86,2 - 30).1}$$

$$= 2,64$$

Karakteristik sedimen pada Pias Kebon Agung I dan Kebon Agung II menurut spesifikasi jenis tanah berdasarkan berat (Wesky, 1997) adalah jenis tanah pasir dan dalam sampel sedimen pun terlihat secara fisik berpasir

C. Klasifikasi Distribusi Ukuran Butiran

1. Klasifikasi butiran Kebon Agung I

Pada Pias Jembatan Kebon Agung I berat sampel asli memiliki berat 4,170 Kg. Setelah dioven dan disaring memiliki data sebagai berikut :

Tabel 5. 6 Tabel data distribusi ukuran butiran

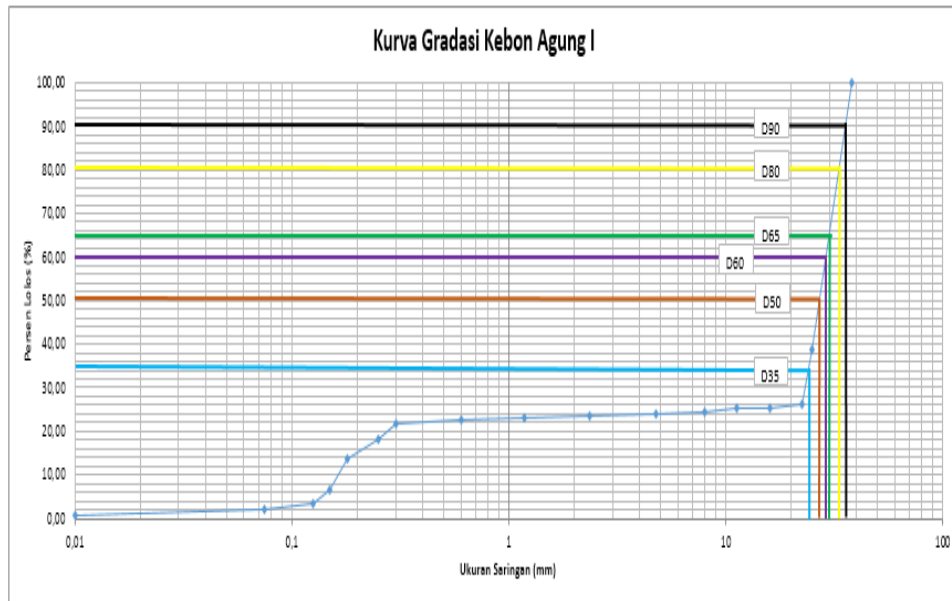
Nomor Saringan	Berat Tertahan Tiap Saringan (gr)	% Berat Tertahan Tiap Saringan	Kumulatif Berat Tertahan Tiap Saringan (%)	(%) Persen Lolos
no. 2	0	0	0	100
no. 1 1/2	865	21,0616	21,0616	79
no. 1	1740	42,3667	63,4283	36,57
no.7/8	520	12,6613	76,0896	23,91
no.5/8	30	0,73046	76,8201	23,18
no.7/16	35	0,8522	77,6723	22,33
no 5/16	7	0,17044	77,8427	22,16
no. 4	10	0,24349	78,0862	21,91
no. 8	5	0,12174	78,2079	21,79
no. 16	10	0,24349	78,4514	21,55
no.30	30	0,73046	79,1819	20,82
no. 50	130	3,16533	82,3472	17,65
no. 60	195	4,74799	87,0952	12,90
no. 80	290	7,06112	94,1563	5,84
no. 100	120	2,92184	97,0782	2,92
n0. 120	55	1,33918	98,4173	1,58
no. 200	40	0,97395	99,3913	0,61
pan	25	0,60872	100	0,00
total	4107			

Sumber : Hasil Analisis Penelitian di Laboratorium Jalan Universitas Muhammadiyah Yogyakarta (24 april 2017)

Contoh perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Berat tertahan} &= \frac{w_i}{W} \times 100\% \\
 &= \frac{865}{4170} \times 100\% \\
 &= 21,06 \%
 \end{aligned}$$

Untuk mengetahui ukuran butiran dapat dilihat dari grafik dibawah ini :



Gambar 5. 9 Grafik Distribusi Ukuran Kebon Agung I

Sumber : Hasil Analisis Penelitian 2017

Dari grafik diatas didapatkan nilai ukuran diameter yang diperlukan sebagai berikut :

$$D_{35} = 11,3$$

$$D_{65} = 12$$

$$D_{50} = 11,85$$

$$D_{90} = 12,8$$

$$D_{60} = 11,99$$

2. Klasifikasi butiran Kebon Agung II

Pada Pias Jembatan Kebon Agung II berat sampel asli memiliki berat 0,958 Kg. Setelah dioven dan disaring memilik data sebagai berikut :

Tabel 5. 7 Tabel data distribusi ukuran butiran

Ukuran Saringan	berat tertahan tiap saringan	persen berat tertahan %	persen komulatif berat tertahan	komulatif persen lolos
no. 2	0	0	0	100
no. 1 1/2	0	0	0	100
no. 1	0	0	0	100
no.7/8	0	0	0	100
no.5/8	39	4.070981211	4.070981211	95.93
no.7/16	24	2.505219207	6.576200418	93.42

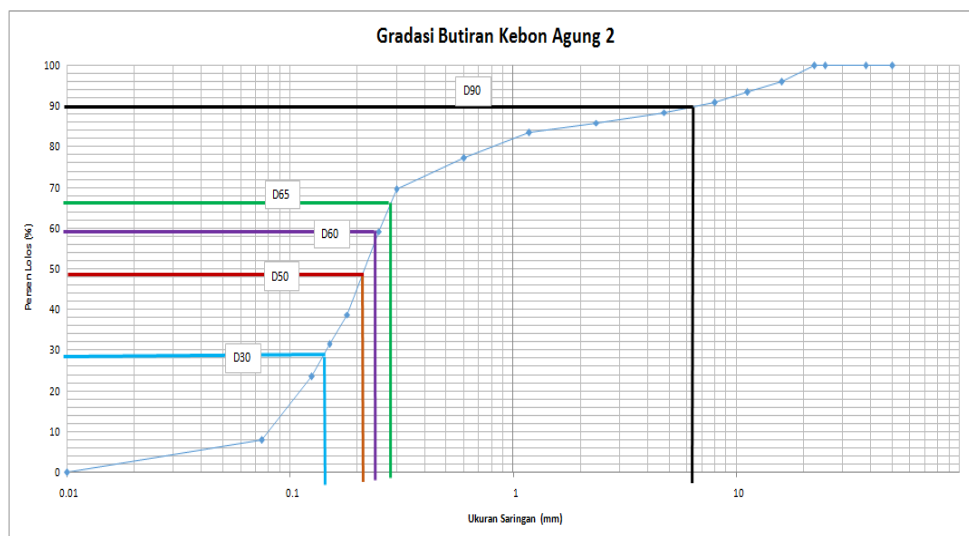
no 5/16	24	2.505219207	9.081419624	90.92
no. 4	24	2.505219207	11.58663883	88.41
no. 8	24	2.505219207	14.09185804	85.91
no. 16	24	2.505219207	16.59707724	83.40
no.30	59	6.158663883	22.75574113	77.24
no. 50	74	7.724425887	30.48016701	69.52
no. 60	99	10.33402923	40.81419624	59.19
no. 80	196	20.45929019	61.27348643	38.73
no. 100	70	7.306889353	68.58037578	31.42
n0. 120	75	7.828810021	76.4091858	23.59
no. 200	150	15.65762004	92.06680585	7.93
pan	76	7.933194154	100	0.00
total	958	100		

Sumber : Hasil Analisis Penelitian di Laboratorium Jalan Universitas Muhammadiyah Yogyakarta (24 april 2017)

Contoh perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Berat tertahan} &= \frac{W_i}{W} \times 100\% \\
 &= \frac{39}{958} \times 100\% \\
 &= 4,07 \%
 \end{aligned}$$

Untuk mengetahui ukuran butiran dapat dilihat dari grafik dibawah ini :



Gambar 5. 10 Grafik Distribusi Ukuran Sedimen Pias Kebon Agung II

Sumber : Hasil Analisis Penelitian 2017

Dari grafik diatas didapatkan nilai ukuran diameter yang diperlukan sebagai berikut :

$$D_{35} = 0,14 \qquad D_{65} = 0,28$$

$$D_{50} = 0,2 \qquad D_{90} = 6$$

$$D_{60} = 25$$

Maka didapat data dari setiap pias untuk diameter ukuran butiran sebagai berikut:

Tabel 5.8 Data Diameter ukuran butiran tiap pias

Pias	D ₃₅ (mm)	D ₅₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	D ₆₅ (mm)	D ₉₀ (mm)
Kebon Agung I	11,3	11,85	11,99	12	12,8
Kebon Agung II	0,18	0,2	0,25	0,28	6

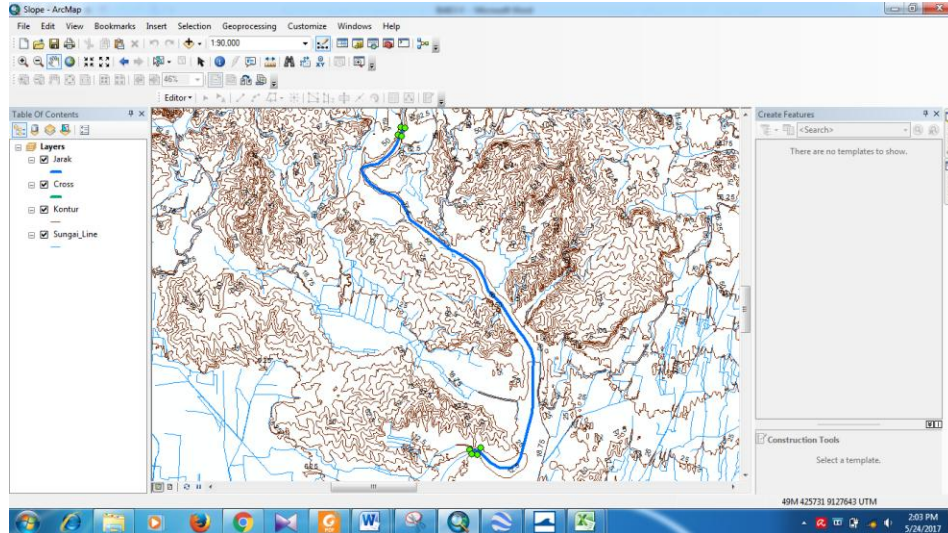
Sumber : Hasil Analisis Penelitian di Laboratorium Jalan Universitas Muhammadiyah Yogyakarta (24 april 2017)

D. Perhitungan *Slope* dan Elevasi *Bedload*

Perangkat lunak pemetaan yang digunakan untuk pembuatan model sungai pada penelitian ini adalah *software* ArcGIS versi 10.1. Koordinat sungai yang didapat pada *cross section* dibuat trace yang bersal dari data peta RBI. Adapun langkah pembuatan model sungai dengan menggunakan *software* ArcGIS 10.1 adalah sebagai berikut :

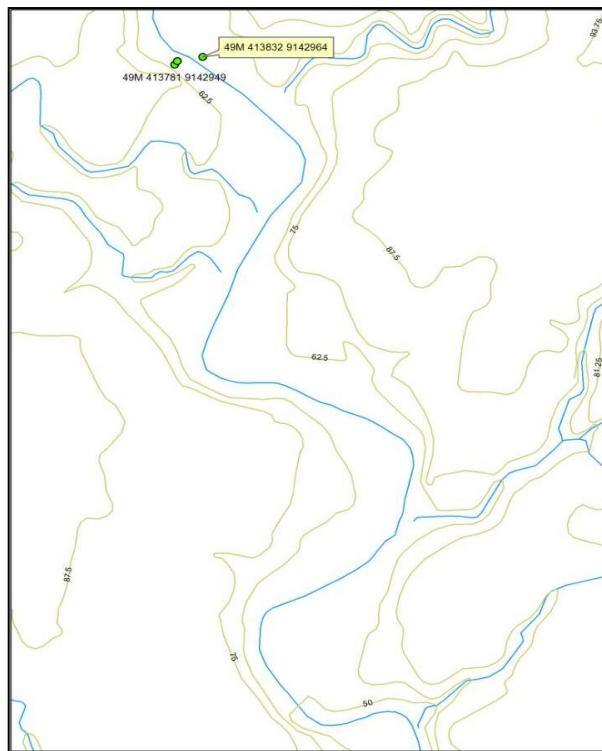
- a. Membuat lembar kerja baru dengan memilih menu *File – New*.
- b. Memasukkan data topologi dari peta RBI dalam bentuk *shapefile* melalui menu *File – Add Data*.
- c. Melakukan trace sungai dengan cara membuat garis *polyline* disepanjang aliran sungai melalui menu *Editor – Start Editing – Contruction Tools – Line*.
- d. Menyimpan *polyline* hasil trace melalui menu *Editor – Save Edit* dan mengakhiri pekerjaan trace dengan menu *Editor – Stop Editing*.

Pembuatan model geometri sungai dengan *software* ArcGIS ditunjukkan pada Gambar 5.11. Setelah geometri selesai di buat, selanjutnya melakukan pengukuran jarak antar pias untuk keperluan *slope* aliran.



Gambar 5. 11 Trace Sungai Menggunakan ArcGIS versi 10.1.

1. Perhitungan *Slope* Pias Kebon Agung I



Gambar 5. 12 Peta kontur dengan koordinat penelitian pias Kebon Agung I

Sumber : Peta Rupa Bumi Indonesia 2017

Diketahui :

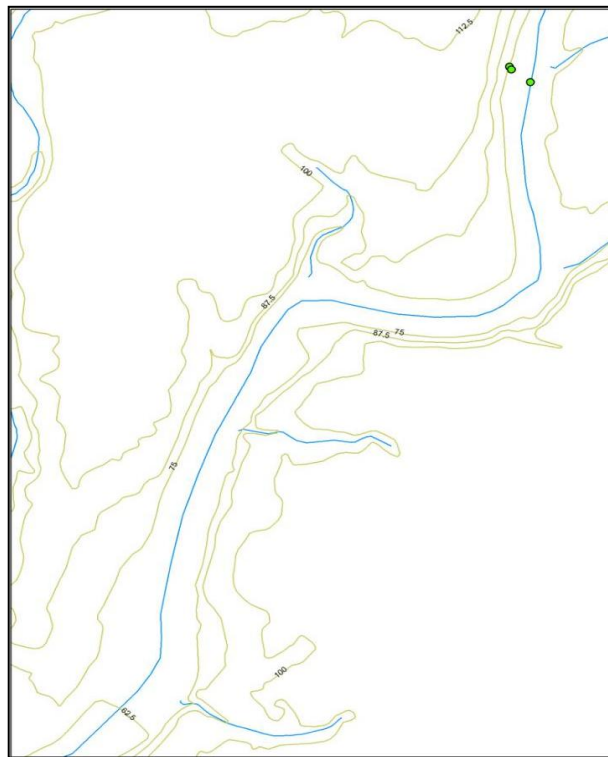
Elevasi pias Kebon Agung I

Elevasi kedalaman = 62,5

Elevasi kiri = 62,5

Elevasi kanan = $75 - \left(\frac{2,2}{3,5}\right) \times (75 - 62,5) = 67,15$

2. Perhitungan Slope Pias Kebon Agung II



Gambar 5. 13 Peta kontur dengan koordinat penelitian pias Kebon Agung II

Sumber : Peta Rupa Bumi Indonesia 2017

Diketahui :

Elevasi pias Kebon Agung II

Elevasi kedalaman = 75

Elevasi kanan = 75

Elevasi kiri = $75 + \left(\frac{2,9}{4}\right) \times (87,5 - 75)$

= 65,93

3. Slope (kemiringan) pias Kebon Agung I – pias Kebon Agung II

Pada hitungan slope menggunakan elevasi muka air yang diasumsikan rata dengan elevasi kiri dan kanan, karena jika menggunakan elevasi dasar dikhawatirkan mendapati elevasi palung sungai. Diketahui jarak yang membentang antara Kebon Agung I sampai Kebon Agung II adalah sepanjang 4900 m atau 4,9 km.

$$\begin{aligned} \text{Sloof} &= \frac{75 - 62,5}{4900} \\ &= 0,002551 \end{aligned}$$

E. Analisis Perhitungan Angkutan Sedimen

Pada penelitian ini Analisis perhitungan sedimen menggunakan 3 (tiga) metode yaitu metode *Meyer-Peter Muller*, *Einstein* dan *Frijlink*. Berikut ini data perhitungan Pias Jembatan Kebon Agung II dan Pias Jembatan Kebon Agung I dapat dilihat pada Tabel 5.8

Tabel 5. 8 Data perhitungan empiris

	Pias Kebon Agung II	Pias Kebon Agung I
Radius Hidrolik	0,927 m	1,757 m
Luas Penampang	146,94 m ²	202,06 m ²
Keliling Penampang	158,52 m	115,02 m
Kedalaman Rata-rata	2,5257 m	4,7056 m
Kecepatan Aliran	1,15	0,96
Debit	169,66 m ³ /s	194,16 m ³ /s
Lebar Penampang	79,649 m	54,293 m
Berat Jenis	2,64	2,64
<i>Slope</i> (Kemiringan)	0,002552	
Diameter Sedimen	D35	0,14
	D50	0,2
	D60	0,25
	D65	0,28
	D90	6

Sumber : Hasil Analisis Penelitian Perhitungan Angkutan Sedimen 2017

1. Metode Meyer Peter Muller

Lokasi : Pias Kebon Agung II

- a. Mencari nilai jari – jari hidraulik:

$$R = \frac{A}{P}$$

Dengan:

R = Jari – jari hidraulik.

A = Luas penampang aliran.

P = Keliling basah aliran

$$\begin{aligned} R &= \left(\frac{146,94}{158,52} \right) \\ &= 0,927 \text{ m} \end{aligned}$$

- b. Mencari ripple factor:

$$\mu = \left(\frac{k_s}{k_s'} \right)^{3/2}$$

Dengan:

μ = Ripple factor

k_s = Nilai kehilangan tenaga akibat bentuk dasar sungai.

k_s' = Nilai kehilangan tenaga akibat gesekan dengan butiran.

$$\begin{aligned} k_s &= \frac{v}{Rb^{3/2}} \\ &= \frac{1,15}{0,927^{2/3} \times 0,002552^{1/2}} \\ &= 23,95 \text{ m/det} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_s' &= \frac{26}{d_{90}^{1/6}} \\ &= \frac{26}{\frac{6}{1000}^{1/6}} \\ &= 60,99 \text{ m/det} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu &= \left(\frac{23,95}{60,99} \right)^{3/2} \\ &= 0,246 \end{aligned}$$

c. Menghitung nilai angkutan sedimen dasar:

$$\text{Nilai } \frac{Q_s}{Q} = 0,927$$

$$\gamma_w \frac{Q_s}{Q} \left(\frac{k_s}{k_{s'}} \right)^{3/2} h I = 0,047 (\gamma_s - \gamma_w) d_m + 0,25 \frac{\gamma_w^{1/3}}{g} (T_b)^{2/3}$$

$$1 \times 0,927 \times 0,246 \times 2,5257 \times 0,002552 = 0,047 \times 1,64 \times (0,2 \times 10^{-3}) + 0,25 \left(\frac{1}{9,81} \right)^{1/3} \times (T_b)^{2/3}$$

$$0,00146969 = 0,000017 + 0,116784 \times (T_b)^{2/3}$$

$$T_b = 0,00138686 \text{ ton/m.det}$$

$$\text{Total } T_b = 0,001775 \times 79,649$$

$$= 0,11046165 \text{ ton/det}$$

$$\text{Dalam 1 hari} = 24 \times 60 \times 60 \times 0,11046165$$

$$= 9543,887 \text{ ton/hari ; atau } 5819,443 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Lokasi : Pias Kebon Agung I

a. Mencari nilai jari – jari hidraulik:

$$R = \frac{A}{P}$$

Dengan:

R = Jari – jari hidraulik.

A = Luas penampang aliran.

P = Keliling basah aliran

$$\begin{aligned} R &= \left(\frac{202,06}{115,02} \right) \\ &= 1,757 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Mencari ripple factor:

$$\mu = \left(\frac{k_s}{k_{s'}} \right)^{3/2}$$

Dengan:

μ = Ripple factor

k_s = Nilai kehilangan tenaga akibat bentuk dasar sungai.

k_s' = Nilai kehilangan tenaga akibat gesekan dengan butiran.

$$\begin{aligned} k_s &= \frac{v}{Rb^{3/2}} \\ &= \frac{0,96}{1,757^{2/3} \times 0,002552^{1/2}} \\ &= 13,05 \text{ m/det} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_s' &= \frac{26}{d_{90}^{1/6}} \\ &= \frac{26}{\frac{6}{1000}^{1/6}} \\ &= 60,99 \text{ m/det} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu &= \left(\frac{13,05}{60,99} \right)^{3/2} \\ &= 0,09899 \end{aligned}$$

c. Menghitung nilai angkutan sedimen dasar:

$$\text{Nilai } \frac{Q_s}{Q} = 0,927$$

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

$$1 \times 1,75 \times 0,098 \times 4,71 \times 0,002552 = 0,047 \times 1,64 \times (0,2 \times 10^{-3}) + 0,25 \left(\frac{1}{9,81} \right)^{1/3} \times (T_b)^{2/3}$$

$$0,00146969 = 0,000017 + 0,116784 \times (T_b)^{2/3}$$

$$T_b = 0,00236168 \text{ ton/m.det}$$

$$\text{Total } T_b = 0,00236168 \times 54,293$$

$$= 0,12822293 \text{ ton/det}$$

$$\text{Dalam 1 hari} = 24 \times 60 \times 60 \times 0,12822293$$

$$= 11078,461 \text{ ton/hari ; atau } 7011,684 \text{ m}^3/\text{hari}$$

2. Metode Eintein

Lokasi : Pias Kebon Agung II

a) Kecepatan gesek akibat kekerasan butiran :

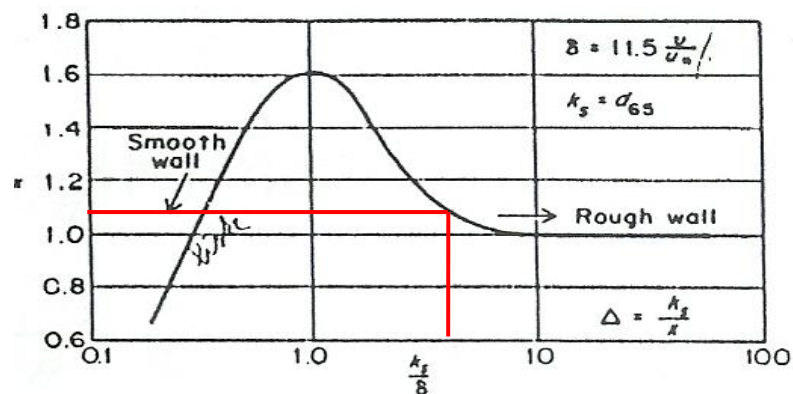
$$\begin{aligned} u' &= \sqrt{g R b' I} \\ &= \sqrt{9,81 \times 0,927 \times 0,002552} \\ &= 0,152 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Tebal lapisan sub-viscous dengan dan nilai u' didapat pada Tabel 3.3

$$\begin{aligned} \delta' &= \frac{11,6 u}{u'} \\ \delta' &= \frac{11,6 \times 0,0000005}{0,152} \\ &= 0,00004 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Menentukan faktor koreksi pengaruh viskositas :

$$\begin{aligned} \frac{K_s}{\delta'} &= \frac{d_{65}}{\delta'} \\ \frac{K_s}{\delta'} &= \frac{0,00028}{0,00004} \\ &= 7,2886 \end{aligned}$$



Gambar 5. 14 Grafik faktor koreksi pengaruh viskositas

Sumber : Kironoto, 1997

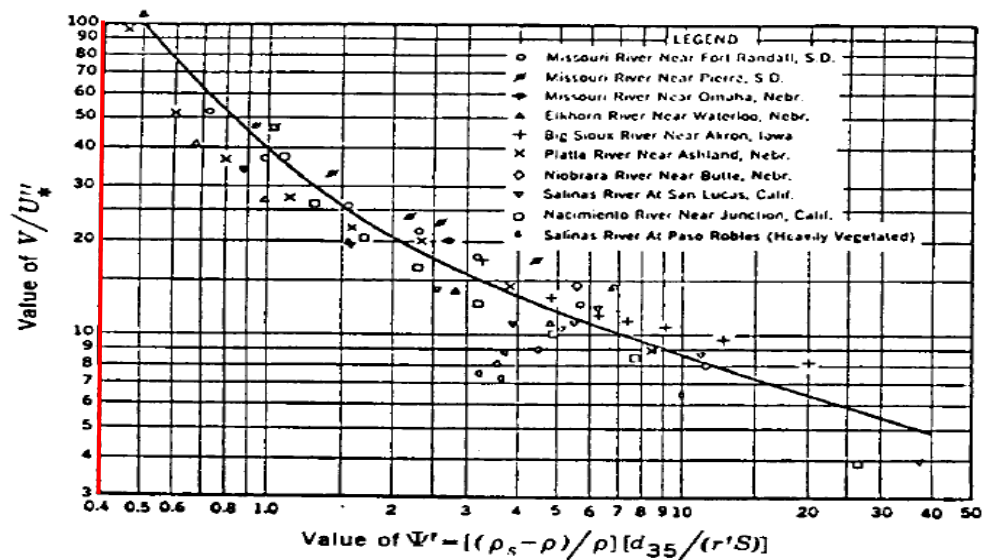
Dari Gambar 5.14, untuk nilai $\frac{K_s}{\delta'} = 7,28$ diperoleh nilai faktor koreksi pengaruh viskositas $x = 1.1$

b) Kecepatan aliran rata-rata :

$$\begin{aligned} v &= 5,75 u' \log \left(\frac{12,27 R b' x}{K_s} \right) \\ &= 5,75 \times 0,213 \log \left(\frac{12,27 \times 0,927 \times 1,1}{0,002552} \right) \\ &= 4,073 \text{ m/s} \end{aligned}$$

c) Intensitas aliran :

$$\begin{aligned} \Psi' &= \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{d_{35}}{S R b'} \\ &= \frac{2,64 - 1}{1} \frac{0,00014}{0,002552 \times 0,927} \\ &= 0,10 \end{aligned}$$



Gambar 5. 15 Grafik Einstein dan Barbossa (1952)

Sumber : Kironoto, 1997

Dari Gambar 5.15 Einstein dan Barbossa (1952) untuk $\Psi' = 0,10$ diperoleh nilai $v/u'' = 100$

$$\frac{v}{U''} = u'' \rightarrow u'' = \frac{4,073}{100} = 0,04073 \text{ m/s}$$

Dimana u'' adalah kecepatan gesek akibat pengaruh konfigurasi dasar (*Shape roughness*). Jari-jari hidraulik akibat konfigurasi dasar diperoleh dengan cara sebagai berikut:

$$u'' = \sqrt{g Rb'' S} \quad Rb'' = \frac{u''^2}{g S} = \frac{0,04073^2}{9,81 \times 0,002552} = 0,06628 \text{ m}$$

Jari-jari total diperoleh cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Rb &= Rb' + Rb'' \\ &= 0,927 + 0,06628 \\ &= 0,993 \text{ m} \end{aligned}$$

Tinggi saluran di asumsikan sama dengan Rb, maka $Rb = h$. $Rb = h = 0,993$ m.

d) Kontrol hitungan debit dengan persamaan

$$\begin{aligned} Q &= A \cdot v \\ &= 146,94 \times 4,073 \\ &= 598,54 \text{ m}^3/\text{s} \neq 169,66 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Terjadi perbedaan nilai control debit = $598,54 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan $169,66 \text{ m}^3/\text{s}$ dikarenakan pada control debit menggunakan luasan trapesium. Dengan berdasarkan nilai Rb' yang benar yaitu menggunakan trial pada Rb agar debit ukur dan debit lapangan sama.

Maka, $Rb_{\text{trial}} = 0,107$

Sehingga,

$$\begin{aligned} u' &= \sqrt{g Rb' I} \\ &= \sqrt{9,81 \times 0,107 \times 0,002552} \\ &= 0,052 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\delta' = \frac{11,6 u}{u'}$$

$$\begin{aligned} \delta' &= \frac{11,6 \times 0,000000867}{0,052} \\ &= 0,00019 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{Ks}{\delta'} &= \frac{d_{65}}{\delta'} \\ \frac{Ks}{\delta'} &= \frac{0,00028}{0,00019} \\ &= 1,4413\end{aligned}$$

Dari Gambar 5.14, untuk nilai $\frac{Ks}{\delta'} = 1,4413$ diperoleh nilai faktor koreksi pengaruh *viskositas* $x = 1,6$.

$$\begin{aligned}v &= 5,75 u' \log \left(\frac{12,27 Rb' x}{Ks} \right) \\ &= 5,75 \times 0,037 \log \left(\frac{12,27 \times 0,107 \times 1,6}{0,002552} \right) \\ &= 1,153 \text{ m/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Psi' &= \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{d_{35}}{S Rb'} \\ &= \frac{2,64 - 1}{1} \frac{0,00014}{0,002552 \times 0,107} \\ &= 0,84\end{aligned}$$

Dari Gambar 5.15 Einstein dan Barbossa (1952) untuk $\Psi' = 0,82$ diperoleh nilai $v/u'' = 50$

$$\frac{v}{u''} = u'' \rightarrow u'' = \frac{1,153}{50} = 0,02125 \text{ m/s}$$

Dimana u'' adalah kecepatan gesek akibat pengaruh konfigurasi dasar (*Shape roughness*). Jari-jari hidraulik akibat konfigurasi dasar diperoleh dengan cara sebagai berikut:

$$u'' = \sqrt{g Rb'' S} \quad Rb' \rightarrow = \frac{u''^2}{g S} = \frac{0,02125^2}{9,81 \times 0,002552} = 0,02125 \text{ m}$$

Jari-jari total diperoleh cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned}Rb &= Rb' + Rb'' \\ &= 0,107 + 0,02125 \\ &= 0,128 \text{ m}\end{aligned}$$

Kontrol hitungan debit:

$$\begin{aligned}
 Q &= A \cdot v \\
 &= 146,94 \times 1,153 \\
 &= 169,46 \text{ m}^3/\text{s} = 169,66 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (mendekati)}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dapat dilakukan perhitungan angkutan sedimen menurut Einstein (1950), sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Maka, } \Delta &= \frac{d_{65}}{x} \\
 &= \frac{0,00028}{1,6} \\
 &= 0,00018 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Berikut mencari nilai $\frac{\Delta}{\delta'}$

$$\frac{\Delta}{\delta'} > 1,8 \quad x = 0,77 \times \Delta$$

$$\frac{\Delta}{\delta'} < 1,8 \quad x = 1,39 \times \delta$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\Delta}{\delta'} &= \frac{0,00018}{0,00019} \\
 &= 0,90084 \text{ m} < 1,8
 \end{aligned}$$

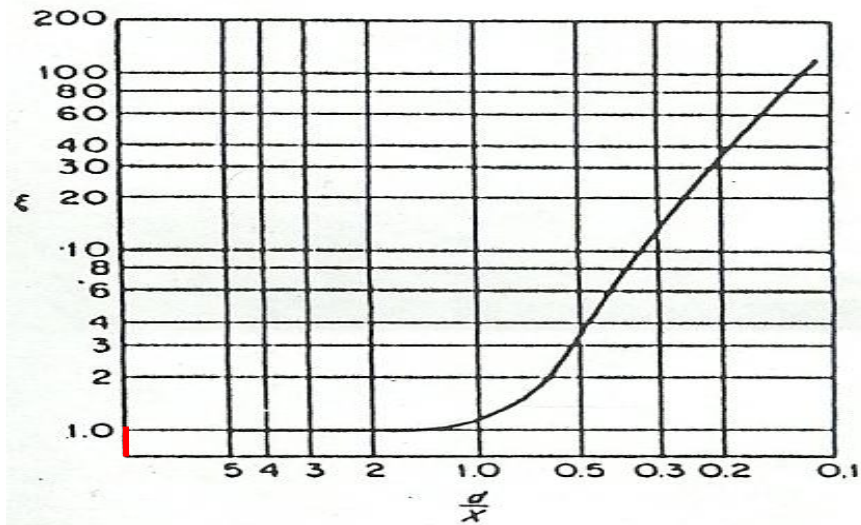
$$\begin{aligned}
 \text{Maka, } x &= 1,39 \times 0,00019 \\
 &= 0,000270 \text{ m}
 \end{aligned}$$

e) Mencari angkutan sedimen

Fraksi d_1

Hiding factor

$$\begin{aligned}
 \frac{d_i}{x} &= \frac{d_1}{x} \\
 &= \frac{0,0099875}{0,000270} \\
 &= 36,9872
 \end{aligned}$$

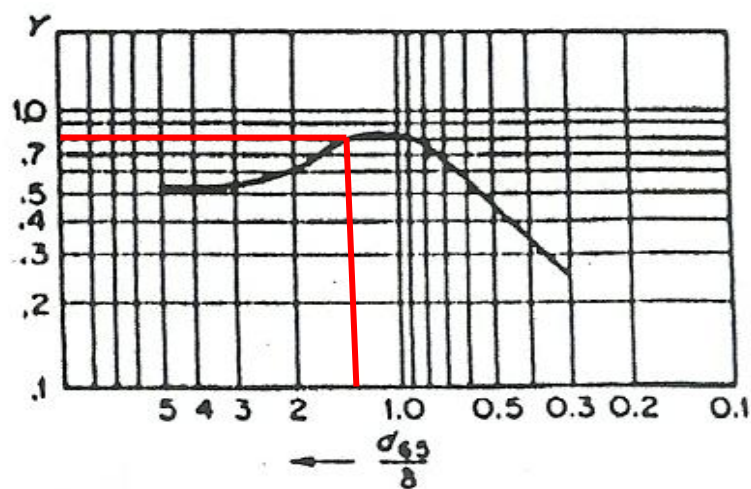
Gambar 5. 16 Grafik *Hidding Factor*

Sumber : Kironoto, 1997

Untuk $\frac{d_i}{x} = 36,9872$ dari Gambar 5.16, diperoleh nilai *hiding factor* = 1

Mencari koreksi gaya angkat

$$\begin{aligned} \frac{K_s}{\delta'} &= \frac{d_{65}}{\delta'} \\ &= \frac{0,00028}{0,00019} \\ &= 1,4413 \end{aligned}$$



Gambar 5. 17 Grafik koreksi gaya angkat

Sumber : Kironoto, 1997

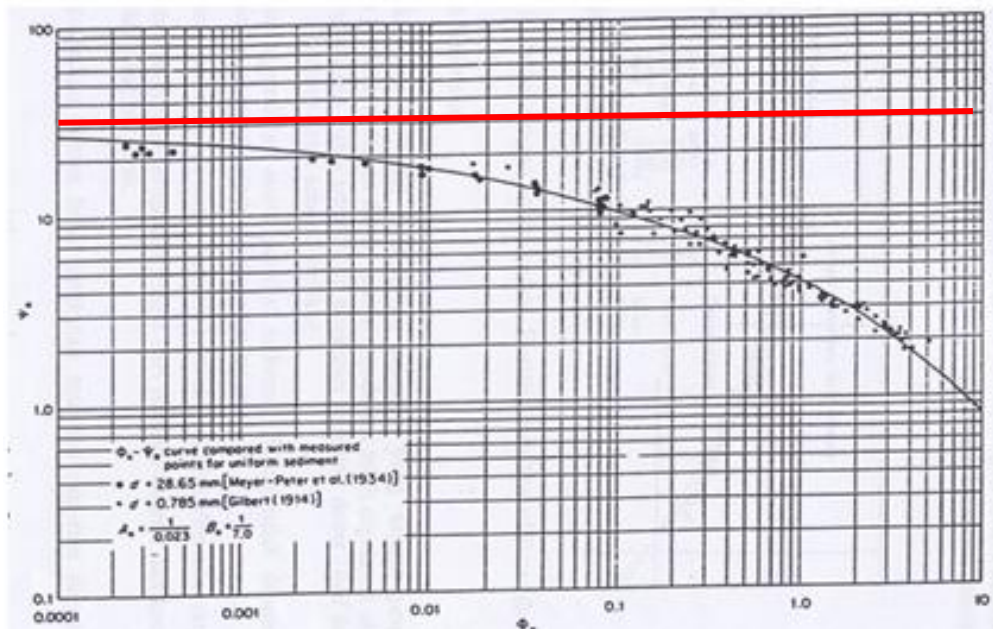
Dari Gambar 5.17 diperoleh nilai koreksi gaya angkat(Y) = 0,8

Mencari intensitas aliran yang dikoreksi

$$\begin{aligned} \left[\frac{\beta}{\beta x}\right]^2 &= \left[\frac{\log(10,6)}{\log(0,6 \frac{x}{\Delta})}\right]^2 \\ &= \left[\frac{\log(10,6)}{\log(0,6 \frac{0,000270}{0,00018})}\right]^2 \\ &= 0,7133 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Psi' &= \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{d_1}{S R b'} \\ &= \frac{2,64 - 1}{1} \frac{0,0099875}{0,002552 \times 0,107} \\ &= 53,400485 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Psi'_{o1} &= \xi_1 Y_1 \left(\frac{\beta}{\beta x}\right)^2 \Psi \\ &= 53,400485 \times 0,8 \times 0,7133 \times 1 \\ &= 30,4887 \end{aligned}$$



Gambar 5. 18 Grafik Einstein

Sumber : Kironoto, 1997

Dari Gambar 5.18 untuk nilai $\Psi'_{o1} = 30,4887$ nilai θ diperoleh 0

Mencari angkutan sedimen dasar untuk fraksi butiran d1

$$\begin{aligned}
 (i_b q_b)_1 &= i_b \Phi_o \rho_s (g d_1)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{\rho - \rho_s}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \\
 &= \frac{11,587}{100} \times 0 \times \left(\frac{2460}{9,81} \right) \times (9,81 \times 0,0099875)^{3/2} \left(\frac{2460-1000}{1000} \right)^{1/2} \\
 &= 0 \text{ kg/m.s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Dalam 1 hari} &= (24 \times 60 \times 60 \times l \times (i_b q_b)_1) / 1000 \\
 &= (24 \times 60 \times 60 \times 79,649 \times 0) / 1000 \\
 &= 0 \text{ ton/hari ,atau}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Vol solid } (i_b q_b)_1 &= \frac{(i_b q_b)_1}{B_j} \\
 &= \frac{0}{(2460-1000)/1000} \\
 &= 0 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Fraksi d₂

Hiding factor :

$$\begin{aligned}
 \frac{d_i}{x} &= \frac{d_2}{x} \\
 &= \frac{0,00111}{0,000270} \\
 &= 4,1107
 \end{aligned}$$

Untuk $\frac{d_i}{x} = 4,1107$ dari Gambar 5.16, diperoleh nilai *hiding factor* = 1

Mencari koreksi gaya angkat :

$$\begin{aligned}
 \frac{K_s}{\delta'} &= \frac{d_{65}}{\delta'} \\
 &= \frac{0,00028}{0,00019} \\
 &= 1,4413
 \end{aligned}$$

Dari Gambar 5.17 diperoleh nilai koreksi gaya angkat(Y) = 0,5

Mencari intensitas aliran yang dikoreksi :

$$\begin{aligned} \left[\frac{\beta}{\beta x}\right]^2 &= \left[\frac{\log(10,6)}{\log(0,6 \cdot \frac{x}{\Delta})}\right] \\ &= \left[\frac{\log(10,6)}{\log(0,6 \cdot \frac{0,000270}{0,00018})}\right]^2 \\ &= 0,8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Psi' &= \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{d_2}{S R b'} \\ &= \frac{2,64 - 1}{1} \frac{0,00111}{0,002552 \times 0,107} \\ &= 6,666 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Psi'_{o1} &= \xi_1 Y_1 \left(\frac{\beta}{\beta x}\right)^2 \\ &= 6,666 \times 0,8 \times 0,7137 \times 1 \\ &= 3,8062 \end{aligned}$$

Dari Gambar 5.18 untuk nilai $\Psi'_{o1} = 3,8062$, nilai θ diperoleh 1,3

Mencari angkutan sedimen dasar untuk fraksi butiran d_2

$$\begin{aligned} (i_b q_b)_2 &= i_b \Phi_{o1} \rho_s (g d_2)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{\rho - \rho_s}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{18,8935}{100} \times 1,3 \times \left(\frac{2460}{9,81}\right) \times (9,81 \times 0,00111)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{2460 - 1000}{1000}\right)^{1/2} \\ &= 0,09618 \text{ kg/m.s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dalam 1 hari} &= (24 \times 60 \times 60 \times l \times (i_b q_b)_1) / 1000 \\ &= (24 \times 60 \times 60 \times 79,649 \times 0,09618) / 1000 \\ &= 661,9044653 \text{ ton/hari, atau} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vol solid } (i_b q_b)_2 &= \frac{(i_b q_b)_1}{B_j} \\ &= \frac{661,9044653}{(2460 - 1000) / 1000} \\ &= 403,6002837 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Fraksi d_3

Hiding factor :

$$\frac{d_i}{x} = \frac{d_3}{x}$$

$$= \frac{0,000131667}{0,000270}$$

$$= 0,4876$$

Untuk $\frac{d_i}{x} = 0,4876$ dari Gambar 5.16, diperoleh nilai *hiding factor* = 4

Mencari koreksi gaya angkat :

$$\frac{Ks}{\delta'} = \frac{d_{65}}{\delta'}$$

$$= \frac{0,00028}{0,00019}$$

$$= 1,4413$$

Dari Gambar 5.17 diperoleh nilai koreksi gaya angkat(Y) = 0,8

Mencari intensitas aliran yang dikoreksi :

$$\left[\frac{\beta}{\beta x}\right]^2 = \left[\frac{\log(10,6)}{\log\left(0,6 \cdot \frac{x}{\Delta}\right)}\right]^2$$

$$= \left[\frac{\log(10,6)}{\log\left(0,6 \cdot \frac{0,000270}{0,00018}\right)}\right]^2$$

$$= 0,7137$$

$$\Psi' = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{d_3}{S R b'}$$

$$= \frac{2,64 - 1}{1} \frac{0,000131667}{0,002552 \times 0,107}$$

$$= 0,70398$$

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

$$= 0,70398 \times 0,7137 \times 0,8 \times 4$$

$$= 1,6077$$

Dari Gambar 5.18 untuk nilai $\Psi'_{o1} = 1,6077$, didapat nilai $\theta = 4$

Mencari angkutan sedimen dasar untuk fraksi butiran d_3

$$(i_b q_b)_3 = i_b \Phi_{o1} \rho_s (g d_3)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{\rho - \rho_s}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{65,5198}{100} \times 4 \times \left(\frac{2640}{9,81}\right) \times (9,81 \times 0,000131)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{2640 - 1000}{1000}\right)^{1/2}$$

$$= 0,03911366 \text{ kg/m.s}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Dalam 1 hari} &= (24 \times 60 \times 60 \times l \times (i_b q_b)_1) / 1000 \\
 &= (24 \times 60 \times 60 \times 79,649 \times 0,03911366) / 1000 \\
 &= 269,1674756 \text{ ,atau}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Vol solid } (i_b q_b)_3 &= \frac{(i_b q_b)_3}{B_j} \\
 &= \frac{269,1674756}{(2640-1000)/1000} \\
 &= 164,1265 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

f) Mencari angkutan sedimen

$$\begin{aligned}
 (i_b q_b)_{\text{tot}} &= (i_b q_b)_1 + (i_b q_b)_2 + (i_b q_b)_3 \\
 &= 0 + 661,9044 + 164,1265 \\
 &= 931,072 \text{ ton/hari, atau}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Vol solid } (i_b q_b)_3 &= \frac{(i_b q_b)_{\text{tot}}}{B_j} \\
 &= \frac{931,072}{(2640-1000)/1000} \\
 &= 637,7205 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Lokasi : Pias Kebon Agung I

a) Kecepatan gesek akibat kekerasan butiran :

$$\begin{aligned}
 u' &= \sqrt{g R b' I} \\
 &= \sqrt{9,81 \times 1,757 \times 0,002552} \\
 &= 0,210 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Tebal lapisan sub-viscous dengan dan nilai u' didapat pada Tabel 3.3

$$\begin{aligned}
 \delta' &= \frac{11,6 u}{u'} \\
 \delta' &= \frac{11,6 \times 0,000000866}{0,210} \\
 &= 0,00005 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Menentukan faktor koreksi pengaruh viskositas :

$$\begin{aligned}\frac{K_S}{\delta'} &= \frac{d_{65}}{\delta'} \\ \frac{K_S}{\delta'} &= \frac{0,00028}{0,00005} \\ &= 5,8446\end{aligned}$$

Dari Gambar 5.14, untuk nilai $\frac{K_S}{\delta'} = 5,8446$ diperoleh nilai faktor koreksi pengaruh viskositas $x = 1.1$

b) Kecepatan aliran rata-rata :

$$\begin{aligned}v &= 5,75 u' \log \left(\frac{12,27 Rb' x}{K_S} \right) \\ &= 5,75 \times 0,210 \log \left(\frac{12,27 \times 1,757 \times 1,1}{0,002552} \right) \\ &= 5,943 \text{ m/s}\end{aligned}$$

c) Intensitas aliran :

$$\begin{aligned}\Psi' &= \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{d_{35}}{S Rb'} \\ &= \frac{2,64 - 1}{1} \frac{0,00014}{0,002552 \times 1,757} \\ &= 0,05\end{aligned}$$

Dari Gambar 5.15 Einstein dan Barbrossa (1952) untuk $\Psi' = 0,05$ diperoleh nilai $v/u'' = 100$

$$\frac{v}{u''} = u'' \rightarrow u'' = \frac{5,943}{100} = 0,05943 \text{ m/s}$$

Dimana u'' adalah kecepatan gesek akibat pengaruh konfigurasi dasar (*Shape roughness*). Jari-jari hidraulik akibat konfigurasi dasar diperoleh dengan cara sebagai berikut:

$$u'' = \sqrt{g Rb'' S} \quad Rb'' = \frac{u''^2}{g S} = \frac{0,05943^2}{9,81 \times 0,002552} = 0,14107 \text{ m}$$

Jari-jari total diperoleh cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned}Rb &= Rb' + Rb'' \\ &= 1,757 + 0,14107 \\ &= 1,898 \text{ m}\end{aligned}$$

Tinggi saluran di asumsikan sama dengan R_b , maka $R_b = h$. $R_b = h = 1,898$ m.

d) Kontrol hitungan debit :

$$\begin{aligned} Q &= A \cdot v \\ &= 202,06 \times 5,943 \\ &= 1200,79 \text{ m}^3/\text{s} \neq 194,16 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Terjadi perbedaan nilai control debit = $1200,79 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan $194,16 \text{ m}^3/\text{s}$ dikarenakan pada control debit menggunakan luasan trapesium. Dengan berdasarkan nilai R_b' yang benar yaitu menggunakan trial pada R_b agar debit ukur dan debit lapangan sama.

Maka, $R_{b_{\text{trial}}} = 0,080$

Sehingga,

$$\begin{aligned} u' &= \sqrt{g R_b' I} \\ &= \sqrt{9,81 \times 0,080 \times 0,002552} \\ &= 0,045 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\delta' = \frac{11,6 u}{u'}$$

$$\begin{aligned} \delta' &= \frac{11,6 \times 0,000000867}{0,045} \\ &= 0,00022 \end{aligned}$$

$$\frac{K_s}{\delta'} = \frac{d_{65}}{\delta'}$$

$$\begin{aligned} \frac{K_s}{\delta'} &= \frac{0,00028}{0,00022} \\ &= 1,2471 \end{aligned}$$

Dari Gambar 5.14, untuk nilai $\frac{K_s}{\delta'} = 1,2471$ diperoleh nilai faktor koreksi pengaruh viskositas $x = 1,6$.

$$\begin{aligned}
 v &= 5,75 u' \log \left(\frac{12,27 Rb' x}{Ks} \right) \\
 &= 5,75 \times 0,037 \log \left(\frac{12,27 \times 0,080 \times 1,6}{0,002552} \right) \\
 &= 0,965 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Psi' &= \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{d_{35}}{S Rb'} \\
 &= \frac{2,64 - 1}{1} \frac{0,00014}{0,002552 \times 0,080} \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

Dari Gambar 5.15 Einstein dan Barbossa (1952) untuk $\Psi' = 1$ diperoleh nilai $v/u'' = 40$

$$\frac{v}{u''} = u'' \rightarrow u'' = \frac{0,96}{40} = 0,02412 \text{ m/s}$$

Dimana u'' adalah kecepatan gesek akibat pengaruh konfigurasi dasar (*Shape roughness*). Jari-jari hidraulik akibat konfigurasi dasar diperoleh dengan cara sebagai berikut:

$$u'' = \sqrt{g Rb'' S} \quad Rb'' \rightarrow = \frac{u''^2}{g S} = \frac{0,02412^2}{9,81 \times 0,002552} = 0,02323 \text{ m}$$

Jari-jari total diperoleh cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Rb &= Rb' + Rb'' \\
 &= 0,080 + 0,02323 \\
 &= 0,103 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Kontrol hitungan debit:

$$\begin{aligned}
 Q &= A \cdot v \\
 &= 202,06 \times 0,96 \\
 &= 194,93 \text{ m}^3/\text{s} = 194,16 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (mendekati)}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dapat dilakukan perhitungan angkutan sedimen menurut Einstein (1950), sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Maka, } \Delta &= \frac{d_{65}}{x} \\ &= \frac{0,00028}{1,6} \\ &= 0,00018 \text{ m} \end{aligned}$$

Berikut mencari nilai $\frac{\Delta}{\delta'}$

$$\frac{\Delta}{\delta'} > 1,8 \quad x = 0,77 \times \Delta$$

$$\frac{\Delta}{\delta'} < 1,8 \quad x = 1,39 \times \delta$$

$$\begin{aligned} \frac{\Delta}{\delta'} &= \frac{0,00018}{0,00022} \\ &= 0,77946 \text{ m} < 1,8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } x &= 1,39 \times 0,00022 \\ &= 0,000312 \text{ m} \end{aligned}$$

e) Mencari angkutan sedimen

Fraksi d_1

Hiding factor

$$\begin{aligned} \frac{d_i}{x} &= \frac{d_1}{x} \\ &= \frac{0,0099875}{0,000312} \\ &= 31,9796 \end{aligned}$$

Untuk $\frac{d_i}{x} = 31,9796$ dari Gambar 5.16, diperoleh nilai *hiding factor* = 1

Mencari koreksi gaya angkat

$$\begin{aligned} \frac{K_s}{\delta'} &= \frac{d_{65}}{\delta'} \\ &= \frac{0,00028}{0,00022} \\ &= 1,2471 \end{aligned}$$

Dari Gambar 5.17 diperoleh nilai koreksi gaya angkat(Y) = 0,8

Mencari intensitas aliran yang dikoreksi

$$\begin{aligned} \left[\frac{\beta}{\beta x}\right]^2 &= \left[\frac{\log(10,6)}{\log(0,6 \frac{x}{\Delta})}\right]^2 \\ &= \left[\frac{\log(10,6)}{\log(0,6 \frac{0,000312}{0,00018})}\right]^2 \\ &= 0,6451 \\ \Psi' &= \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{d_1}{S R b'} \\ &= \frac{2,64 - 1}{1} \frac{0,0099875}{0,002552 \times 0,080} \\ &= 71,3695 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Psi'_{o1} &= \xi_1 Y_1 \left(\frac{\beta}{\beta x}\right)^2 \Psi \\ &= 1 \times 0,8 \times 0,6451 \times 71,3695 \\ &= 36,8341 \end{aligned}$$

Dari Gambar 5.18 untuk nilai $\Psi'_{o1} = 36,8341$ nilai θ diperoleh 0

Mencari angkutan sedimen dasar untuk fraksi butiran d1

$$\begin{aligned} (i_b q_b)_1 &= i_b \Phi_{o1} \rho_s (g d_1)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{\rho - \rho_s}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{11,587}{100} \times 0 \times \left(\frac{2460}{9,81}\right) \times (9,81 \times 0,0099875)^{3/2} \left(\frac{2460 - 1000}{1000}\right)^{1/2} \\ &= 0 \text{ kg/m.s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dalam 1 hari} &= (24 \times 60 \times 60 \times l \times (i_b q_b)_1) / 1000 \\ &= (24 \times 60 \times 60 \times 79,649 \times 0) / 1000 \\ &= 0 \text{ ton/hari ,atau} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vol solid } (i_b q_b)_1 &= \frac{(i_b q_b)_1}{B_j} \\ &= \frac{0}{(2460 - 1000) / 1000} \\ &= 0 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Fraksi d_2

Hiding factor :

$$\begin{aligned}\frac{d_i}{x} &= \frac{d_2}{x} \\ &= \frac{0,00111}{0,000312} \\ &= 3,5568\end{aligned}$$

Untuk $\frac{d_i}{x} = 3,5568$ dari Gambar 5.16, diperoleh nilai *hiding factor* = 1

Mencari koreksi gaya angkat :

$$\begin{aligned}\frac{Ks}{\delta'} &= \frac{d_{65}}{\delta'} \\ &= \frac{0,00028}{0,00022} \\ &= 1,2471\end{aligned}$$

Dari Gambar 5.17 diperoleh nilai koreksi gaya angkat(Y) = 0,8

Mencari intensitas aliran yang dikoreksi :

$$\begin{aligned}\left[\frac{\beta}{\beta x}\right]^2 &= \left[\frac{\log(10,6)}{\log(0,6 \frac{x}{\Delta})}\right]^2 \\ &= \left[\frac{\log(10,6)}{\log(0,6 \frac{0,000312}{0,00018})}\right]^2 \\ &= 0,6451\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Psi' &= \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{d_2}{S R b'} \\ &= \frac{2,64 - 1}{1} \frac{0,00111}{0,002552 \times 0,080} \\ &= 8,4815\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Psi'_{o1} &= \xi_1 Y_1 \left(\frac{\beta}{\beta x}\right)^2 \\ &= 1 \times 8,4815 \times 0,6451 \times 0,8 \\ &= 4,3774\end{aligned}$$

Dari Gambar 5.18 untuk nilai $\Psi'_{o1} = 4,3774$, nilai θ diperoleh 1

Mencari angkutan sedimen dasar untuk fraksi butiran d_2

$$(i_b q_b)_2 = i_b \Phi_{\rho_s} \rho_s (g d_2)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{\rho - \rho_s}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{18,8935}{100} \times 1 \times \left(\frac{2460}{9,81} \right) \times (9,81 \times 0,00111)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{2460-1000}{1000} \right)^{1/2}$$

$$= 0,0689428 \text{ kg/m.s}$$

$$\text{Dalam 1 hari} = (24 \times 60 \times 60 \times l \times (i_b q_b)_1) / 1000$$

$$= (24 \times 60 \times 60 \times 54,293 \times 0,0689428) / 1000$$

$$= 323,404941 \text{ ton/hari, atau}$$

$$\text{Vol solid } (i_b q_b)_2 = \frac{(i_b q_b)_1}{B_j}$$

$$= \frac{323,404941}{(2460-1000)/1000}$$

$$= 197,19813 \text{ m}^3/\text{s}$$

Fraksi d_3

Hiding factor :

$$\frac{d_i}{x} = \frac{d_3}{x}$$

$$= \frac{0,000131667}{0,000312}$$

$$= 0,4219$$

Untuk $\frac{d_i}{x} = 0,4219$ dari Gambar 5.16, diperoleh nilai *hiding factor* = 6

Mencari koreksi gaya angkat :

$$\frac{K_s}{\delta'} = \frac{d_{65}}{\delta'}$$

$$= \frac{0,00028}{0,00022}$$

$$= 1,2471$$

Dari Gambar 5.17 diperoleh nilai koreksi gaya angkat (Y) = 0,8

Mencari intensitas aliran yang dikoreksi :

$$\left[\frac{\beta}{\beta x} \right]^2 = \left[\frac{\log(10,6)}{\log(0,6 \cdot \frac{x}{\Delta})} \right]$$

$$= \left[\frac{\log(10,6)}{\log(0,6 \cdot \frac{0,000312}{0,00018})} \right]^2$$

$$= 0,6451$$

$$\begin{aligned}\Psi' &= \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{d_3}{S R b'} \\ &= \frac{2.64 - 1}{1} \frac{0,000131667}{0,002552 \times 0,080} \\ &= 0,9415\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Psi'_{o1} &= \xi_1 Y_1 \left(\frac{\beta}{\beta x}\right)^2 \\ &= 6 \times 0,8 \times 0,6451 \times 0,9415 \\ &= 2,9157\end{aligned}$$

Dari Gambar 5.18 untuk nilai $\Psi'_{o1} = 1,6077$, didapat nilai $\theta = 2$

Mencari angkutan sedimen dasar untuk fraksi butiran d_3

$$\begin{aligned}(i_b q_b)_3 &= i_b \Phi_o \rho_s (g d_3)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{\rho - \rho_s}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{65,5198}{100} \times 2 \times \left(\frac{2640}{9,81}\right) \times (9,81 \times 0,000131)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{2640 - 1000}{1000}\right)^{1/2} \\ &= 0,02072736 \text{ kg/m.s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Dalam 1 hari} &= (24 \times 60 \times 60 \times l \times (i_b q_b)_1) / 1000 \\ &= (24 \times 60 \times 60 \times 54,293 \times 0,02072736) / 1000 \\ &= 97,2302 \text{ ton/hari, atau}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Vol solid } (i_b q_b)_3 &= \frac{(i_b q_b)_3}{B_j} \\ &= \frac{97,2302}{(2640 - 1000) / 1000} \\ &= 56,2867 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

f) Mencari angkutan sedimen

$$\begin{aligned}(i_b q_b)_{\text{tot}} &= (i_b q_b)_1 + (i_b q_b)_2 + (i_b q_b)_3 \\ &= 0 + 323,405941 + 56,2867 \\ &= 420,635 \text{ ton/hari, atau}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Vol solid } (i_b q_b)_3 &= \frac{(i_b q_b)_{\text{tot}}}{B_j} \\ &= \frac{420,635}{(2640 - 1000) / 1000} \\ &= 256,483 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

3. Metode Frijlink

Lokasi : Pias Kebon Agung II

Diketahui:

$$a. \mu = \left(\frac{k_s}{k_s'} \right)^{3/2}$$

Dengan:

μ = Ripple factor

k_s = Nilai kehilangan tenaga akibat bentuk dasar sungai.

k_s' = Nilai kehilangan tenaga akibat gesekan dengan butiran.

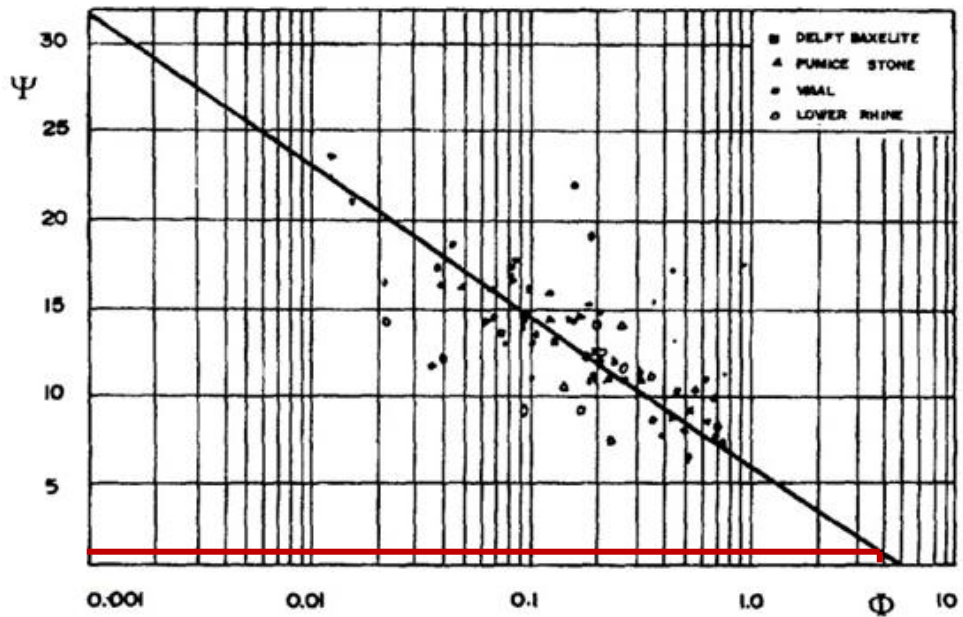
$$\begin{aligned} k_s &= \frac{v}{Rb^{3/2}} \\ &= \frac{1,15}{0,927^{2/3} \times 0,002552^{1/2}} \\ &= 23,95 \text{ m/det} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_s' &= \frac{26}{d_{90}^{1/6}} \\ &= \frac{26}{\frac{6}{1000}^{1/6}} \\ &= 60,99 \text{ m/det} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu &= \left(\frac{23,95}{60,99} \right)^{3/2} \\ &= 0,246 \end{aligned}$$

b. Mencari intensitas aliran:

$$\begin{aligned} \Psi &= \frac{\Delta d_{50}}{\mu R I} \\ &= \frac{1,64 \times (0,22 \times 10^{-3})}{0,29 \times 0,927 \times 0,002552} \\ &= 0,53 \end{aligned}$$



Gambar 5. 19 Grafik angkutan sedimen metode Frijlink
 Sumber : Kironoto, 1997

Dengan nilai $\Psi = 16,23$ maka dari dari Gambar 5.20 didapat nilai $\Phi = 5$

c. Menghitung nilai angkutan sedimen:

$$\begin{aligned}
 T_b &= \Phi d_{50} \sqrt{g \mu R I} \\
 &= 4,5 \times (0,22 \times 10^{-3}) \sqrt{9,81 \times 0,29 \times 0,927 \times 0,002552} \\
 &= 0,0000679985 \text{ m}^3 / \text{m.det}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total } T_b &= 79,65 \times 0,0000679985 \\
 &= 0,005416013 \text{ m}^3 / \text{det}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Dalam 1 hari} &= 24 \times 60 \times 60 \times 0,005416013 \\
 &= 467,944 \text{ m}^3 / \text{hari}
 \end{aligned}$$

Lokasi : Pias Kebon Agung I

Diketahui:

$$\text{a. } \mu = \left(\frac{k_s}{k_s'} \right)^{3/2}$$

Dengan:

$$\mu = \text{Ripple factor}$$

k_s = Nilai kehilangan tenaga akibat bentuk dasar sungai.

k_s' = Nilai kehilangan tenaga akibat gesekan dengan butiran.

$$k_s = \frac{v}{Rb^{3/2}}$$

$$= \frac{0,96}{1,757^{2/3} \times 0,002552^{1/2}}$$

$$= 13,05 \text{ m/det}$$

$$k_s' = \frac{26}{d_{90}^{1/6}}$$

$$= \frac{26}{\frac{6}{1000}^{1/6}}$$

$$= 60,99 \text{ m/det}$$

$$\mu = \left(\frac{13,05}{60,99}\right)^{3/2}$$

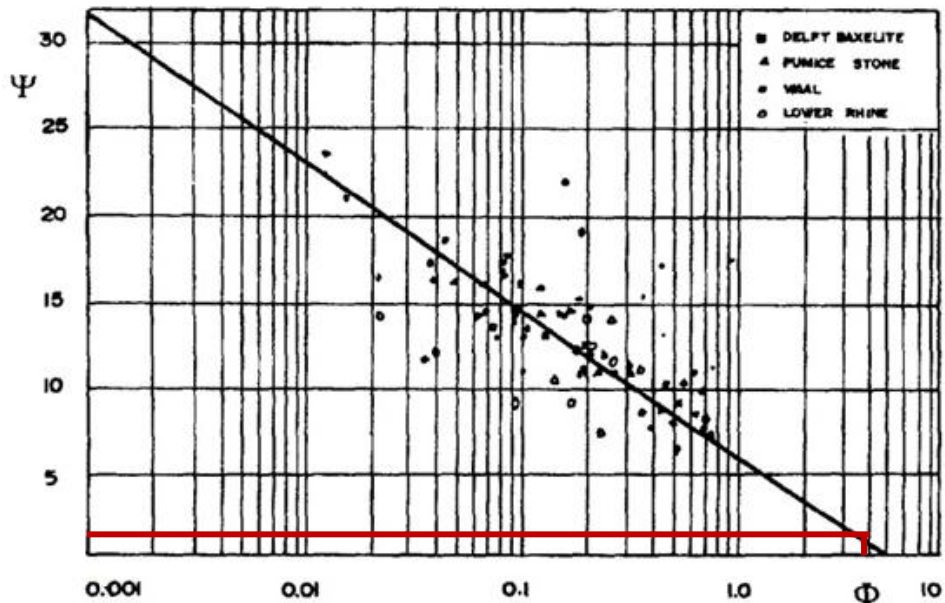
$$= 0,099$$

b. Mencari intensitas aliran:

$$\Psi = \frac{\Delta d_{50}}{\mu R l}$$

$$= \frac{1,64 \times (0,22 \times 10^{-3})}{0,099 \times 1,757 \times 0,002552}$$

$$= 0,70$$



Gambar 5. 20 Grafik angkutan sedimen metode Frijlink

Sumber : Kironoto, 1997

Dengan nilai $\Psi = 16,23$ maka dari dari Gambar 5.24 didapat nilai $\Phi = 3.5$

c. Menghitung nilai angkutan sedimen:

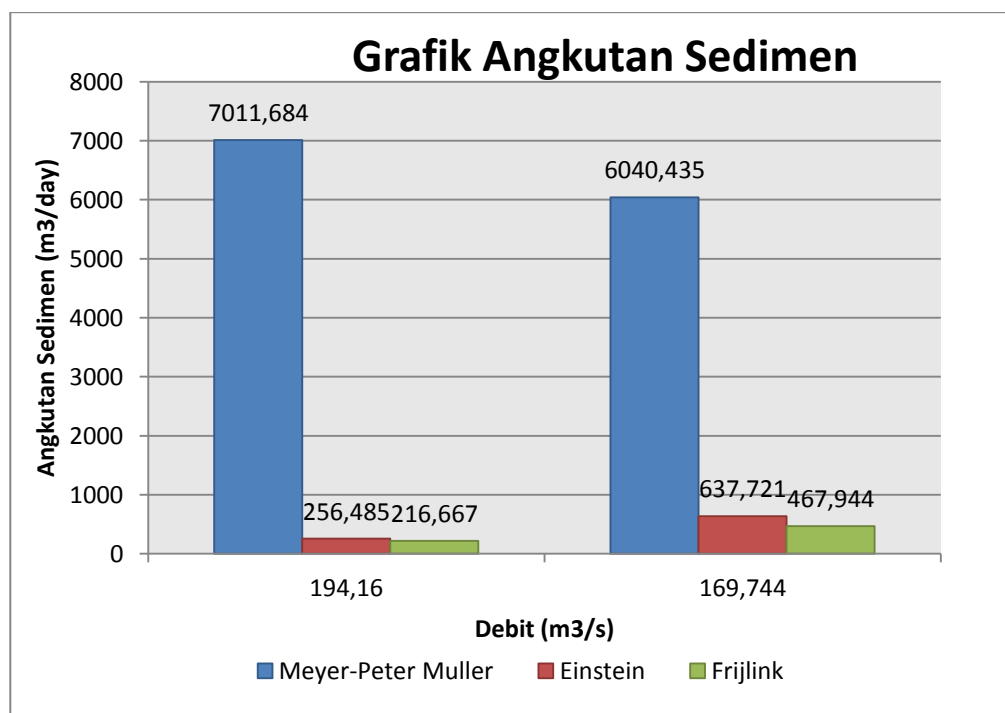
$$\begin{aligned}
 T_b &= \Phi d_{50} \sqrt{g \mu R I} \\
 &= 3,5 \times (0,22 \times 10^{-3}) \sqrt{9,81 \times 0,099 \times 1,757 \times 0,002552} \\
 &= 0,0000461886 \text{ m}^3 / \text{m.det} \\
 \text{Total } T_b &= 54,293 \times 0,0000461886 \\
 &= 0,002507719 \text{ m}^3 / \text{det} \\
 \text{Dalam 1 hari} &= 24 \times 60 \times 60 \times 0,002507719 \\
 &= 342,334 \text{ m}^3 / \text{hari}
 \end{aligned}$$

Berikut hasil perhitungan Metode Empiris pada Pias Kebon Agung I dan Kebon Agung II

Tabel 5. 9 Hasil perhitungan Pias Kebon Agung I dan Kebon Agung II

Ruas	Debit (m ³ /s)	Metode Empiris (m ³ /day)		
		Meyer-Peter Muller	Einstein	Frijlink
KB I	194,16	7011,684	256,485	216,667
KB II	169,744	6040,435	637,721	467,944

Sumber: Perhitungan Angkutan Sedimen Metode Empiris, 2017



Gambar 5. 21 Grafk Angkutan Sedimen

Sumber : Hasil Analisis Penelitian 2017

F. Perbandingan Angkutan Sedimen

Tabel 5. 10 Perubahan Fluktuasi pada pengikisan struktur

Struktur	Dasar sungai pada tahun 2000		Level sebelumnya		perbedaan		Perubahan per-tahun
	Terendah (El.m)	Rata-rata (El.m)	Tahun observasi	Rata-rata (El.m)	Waktu (tahun)	Rata-rata (cm)	
Jembatan Srandakan	-0,295	6	1929	11,25	71	-525	-7,39 (1925-00)
Kamijoro Intake	20,57	23,2	1924	22,18	76	102	+1,34 (1924-00)
			1930	21,68	70	152	+2,17 (1930-00)
			1970	26,13	30	-293	-9,77 (1970-00)
Bantar Road Bridge	34,65	36,3	1984	40,93	16	-463	-28,9 (1984-00)
Kebon Agung Groundsill and Bridge	51,88	52	1982	57,6	18	-560	-31,1 (1982-00)

Sumber : Consulting Service For Mt. Merapi and Mt. Semeru Volcanic Disaster (Phase II),2001

Pada Tabel diatas hanya terdapat data Pias Kebon Agung I, yakni pada Kebon Agung Groundsill and Bridge. Perbandingan dari hasil penelitian dilapangan pada tanggal 11 April 2017 dengan penelitian pada Oktober, 2000 di sungai Progo Hilir daerah Kebon Agung I adalah terjadi Agradasi,yakni pada tahun 2000 elevasi rata-rata adalah +52 menjadi +54,73 pada tahun 2017 ini. Faktor-faktor penyebab perubahan adalah diantaranya :

1. Terjadinya banjir lahar dingin pada tahun 2010
2. Cuaca yang terjadi pada sungai bagian hulu Sungai Progo yang mana membawa debit (Q) tinggi sehingga sedimen yang berada pada hulu terbawa ke hilir.