

BAB V

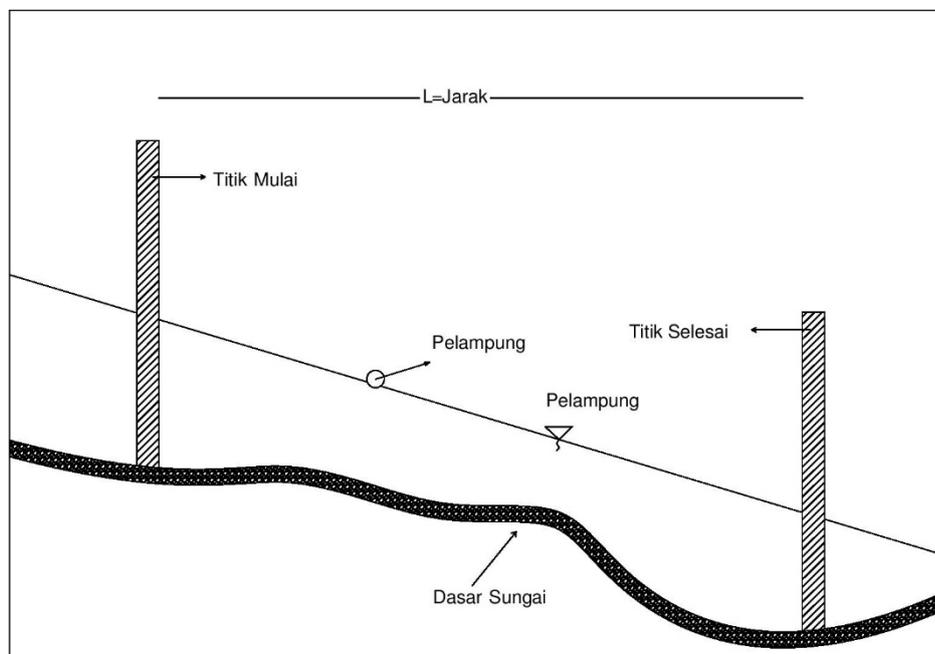
HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Hidrometri Sungai

Berikut ini akan menjelaskan langkah – langkah menentukan nilai hidrometri sungai Progo hilir pias Kebon Agung 1 dan Bantar yang meliputi luasan penampang, kecepatan aliran dan kemiringan dasar sungai dimana nilai tersebut merupakan parameter dalam menentukan besaran angkutan sedimen dasar.

1. Kecepatan aliran.

Ada berbagai metode untuk mengukur kecepatan suatu aliran di lapangan. Pada penelitian ini pengukuran kecepatan aliran menggunakan metode pelampung. Pengambilan data dilakukan di daerah jembatan Kebon Agung1 yang diasumsikan sebagai hulu. Berikut ini gambaran pelaksanaan pengukuran kecepatan aliran dengan metode pelampung.



Gambar 5.1 Pengukuran kecepatan dengan metode pelampung.

Pengukuran ini dilakukan pada 3 sisi aliran yaitu sisi tengah, sisi kanan dan sisi kiri aliran. Setiap sisi dilakukan 3 kali pengukuran yang kemudian dirata – rata. Adapun contoh perhitungan dari pengukuran tersebut adalah:

$$\text{Aliran sisi kiri} = \left(\frac{10}{9,08}\right) + \left(\frac{10}{10,23}\right) + \left(\frac{10}{11,4}\right) = \frac{2,956}{3} = 0,985$$

$$\text{Aliran sisi tengah} = \left(\frac{10}{5,2}\right) + \left(\frac{10}{7,88}\right) + \left(\frac{10}{9,5}\right) = \frac{4,245}{3} = 1,415$$

$$\text{Aliran sisi kanan} = \left(\frac{10}{6}\right) + \left(\frac{10}{7}\right) + \left(\frac{10}{8}\right) = \frac{4,345}{3} = 1,448$$

$$\begin{aligned} v_{\text{permukaan}} &= \frac{0,985 + 1,415 + 1,448}{3} \\ &= 1,283 \text{ m/det} \end{aligned}$$

Setelah didapat kecepatan rata – rata, nilai tersebut harus dikali dengan koefisien sesuai dengan peraturan SNI 8066:2015. Koefisien tersebut berkisar antara 0,50 – 0,98. Adapun hasil perhitungan kecepatan aliran pada penelitian kali ini selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

$$\begin{aligned} v_{\text{rata – rata}} &= 1,283 \times 0,90 \\ &= 1,155 \text{ m/det} \end{aligned}$$

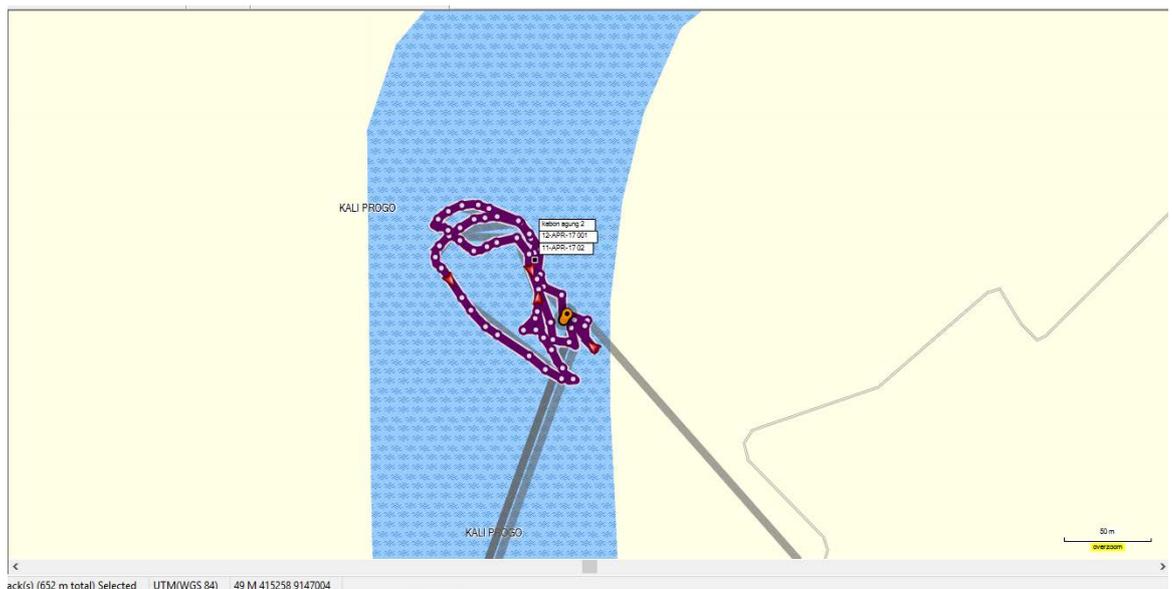
2. Luas penampang sungai.

Pada penelitian ini luas penampang yang dipakai adalah luas penampang di daerah Kebon Agung 1 tepatnya sebelum jembatan Kebon Agung 1. Penampang tersebut didapat dari hasil pengukuran dilapangan menggunakan alat *echo sounder* dengan merk Garmin 178c sounder. Dari alat tersebut didapat data kedalaman aliran dan koordinat UTM. Pengambilan data kedalaman dilakukan dengan cara menyusuri sungai secara melintang sebanyak 4 kali pada titik yang telah ditentukan dengan bantuan kapal refting sebagai alat susurnya. Di dalam kapal terdapat 7 orang yang betugas. 5 orang sebagai pendayung, 1 orang sebagai pemegang sounder dan 1 orang sebagai pembaca monitor dari alat *echo sounder* tersebut.



Gambar 5.2 Pengambilan data kedalaman aliran

Untuk dapat dioalah data yang sudah didapat hasil penelitian harus diunduh dari alat *echo sounder* terlebih dahulu. Pada penelitian ini data diunduh menggunakan *software Mapsource*. Dari sounding tersebut didapat beberapa data, namun data yang digunakan pada penelitian ini adalah data koordinat serta kedalaman aliran dan suhu air saja.

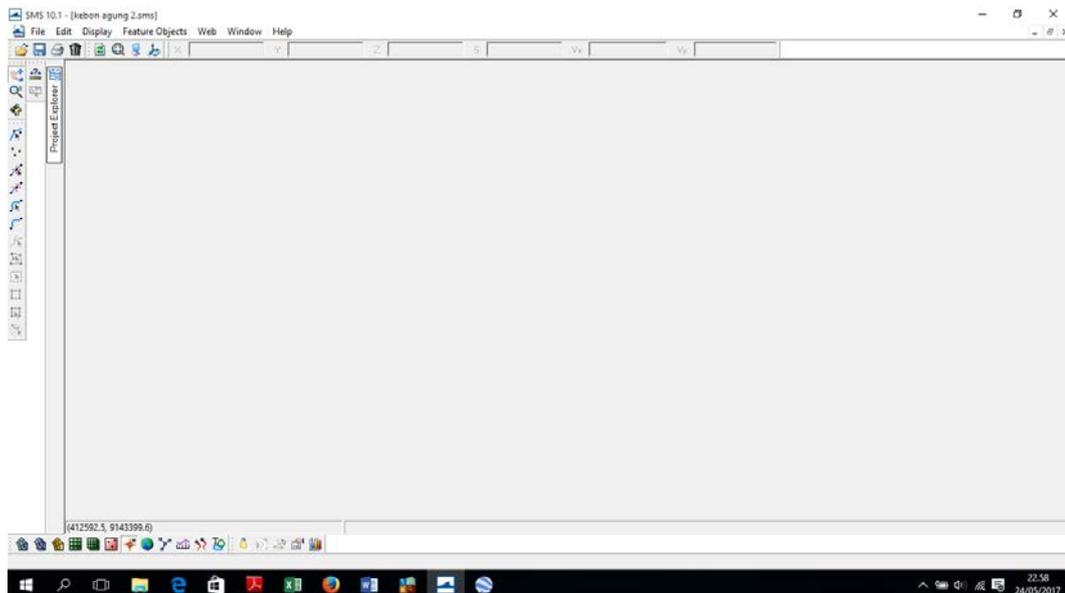


Gambar 5.3 Tampilan hasil unduhan data di *Mapsource*

Selanjutnya data tersebut *diexport* ke bentuk *Excel* untuk memisahkan koordinat *x*, *y* dan *z* yang kemudian nantinya dapat diolah menggunakan *Software Surface Water Modeling System* atau *SMS* untuk mendapatkan bentuk penampangnya. Data tersebut dapat dilihat pada lampiran.

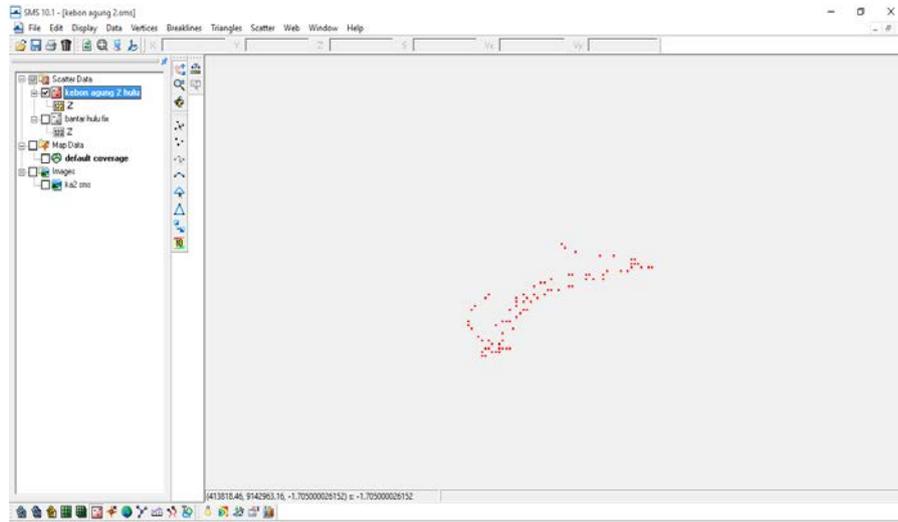
Data *x*, *y* dan *z* yang telah didapat merupakan data koordinat dan kedalaman aliran selama penyusuran melintang sungai sebanyak 4 kali seperti yang sudah dijelaskan diatas. Untuk mendapatkan penampang pada pias tersebut maka di tarik garis linear yang memotong atau melewati titik – titik *x,y,z* yang sebelumnya. Dengan menggunakan *software Surface Water Modeling System* atau *SMS* kedalaman serta jaraknya yang terdapat pada garis linear tersebut dapat diketahui. Dengan perangkat lunak tersebut didapat juga bentuk penampang dari garis linear yang telah dibuat. Adapun pengolahan dengan *software Surface Water Modeling System* atau biasa disebut *SMS* untuk mendapatkan penampang sungai tersebut adalah sebagai berikut:

a. Membuat lembar kerja baru dengan membuka *software SMS*



Gambar 5.4 Tampilan Lembar kerja

- b. Buka data yang telah dipisahkan berupa koordinat x , y dan z untuk kedalaman berbentuk *.txt dengan *File – Open – Use Import Wizard – Next - Finish.*



Gambar 5.5 Tampilan hasil memasukan data bathimetri.

- 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*.



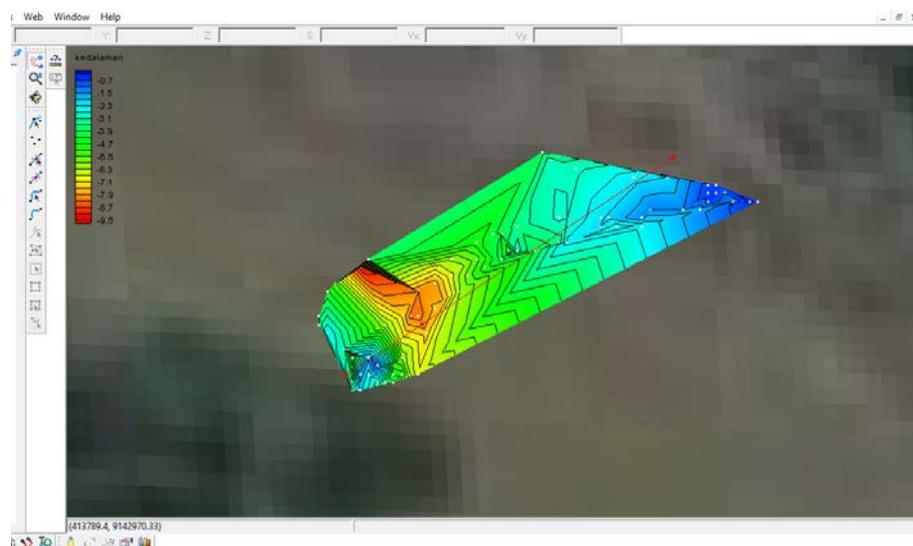
Gambar 5.6 Tampilan memasukan peta dari *Google Earth*

- 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*.



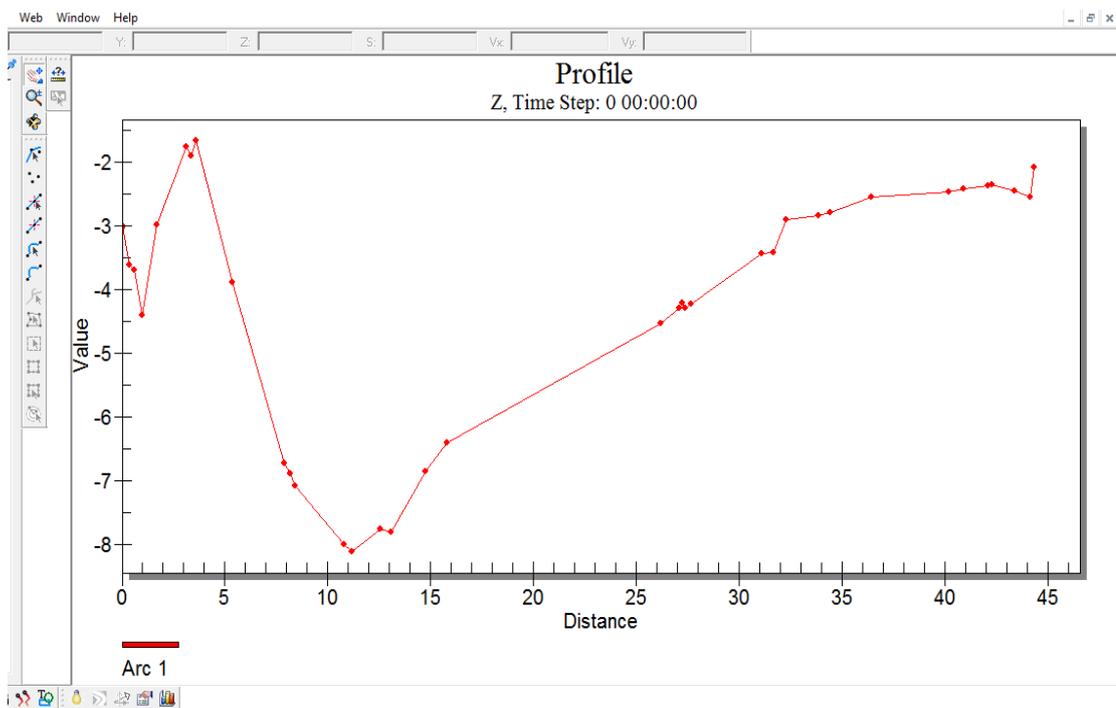
Gambar 5.7 Pembuatan kontur dengan *software SMS*

- e. Lakukan pemotongan melintang pada kontur dengan memilih pada *Statusbar – Icon Map Module* pilih *icon Select Feature Point* lakukan pemotongan.



Gambar 5.8 Hasil pembuatan garis linear yang melintang sungai

- f. Analisis *cross section* pada *Map Data – Default Coverage* klik kanan pilih *Type – Observation*. Untuk hasil analisis pilih *Display – Plot Wizard – Observation Type – Finish*.



Gambar 5.9 Tampilan grafik jarak dan kedalaman

Gambar diatas merupakan grafik hubungan dari kedalaman dan jarak antar titik kedalaman tersebut. Grafik diatas menggambarkan bentuk penampang sungai yang diambil dari garis linear yang telah dibuat menggunakan *software SMS*. Selain grafik kita juga dapat melihat nilai yang ada pada grafik tersebut. Adapun nilai jarak dan kedalaman dari grafik diatas adalah sebagai berikut:

Tabel 5.1 Jarak dan kedalaman di pias Kebon Agung 1

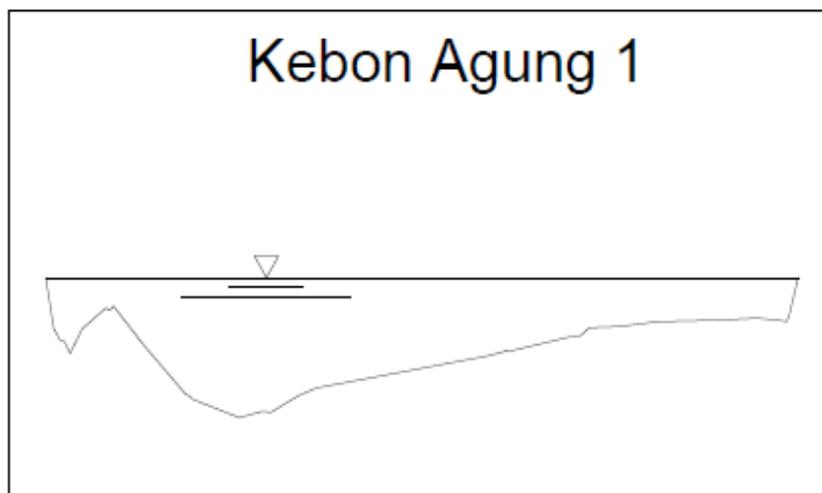
no	Distance	Value
1	0	-3.035
2	0.016967	-2.99455
3	0.348948	-3.61111
4	0.614528	-3.68218
5	0.969117	-4.39609
6	1.701459	-2.97087
7	3.11992	-1.75731
8	3.376861	-1.89933
9	3.581407	-1.64708
10	5.383	-3.88301
11	7.905908	-6.72862
12	8.19235	-6.89273
13	8.397717	-7.07294
14	10.78891	-7.99511
15	11.16904	-8.12192
16	11.1692	-8.12188
17	12.53172	-7.76045
18	13.07904	-7.80591
19	14.7287	-6.8497
20	15.79516	-6.39586
21	26.17129	-4.53683
22	27.10402	-4.29273
23	27.23467	-4.20878
24	27.38647	-4.2831
25	27.67635	-4.22007
26	31.06592	-3.43559
27	31.6515	-3.40815
28	32.26979	-2.90058
29	33.83495	-2.83998
30	34.4187	-2.78763
31	36.41591	-2.54827
32	40.16866	-2.46403
33	40.89301	-2.41629
34	42.07785	-2.36762
35	42.27679	-2.34383
36	43.39874	-2.43779
37	44.16112	-2.54054
38	44.33265	-2.07799

Sumber: *Software Surface Modeling System atau SMS*

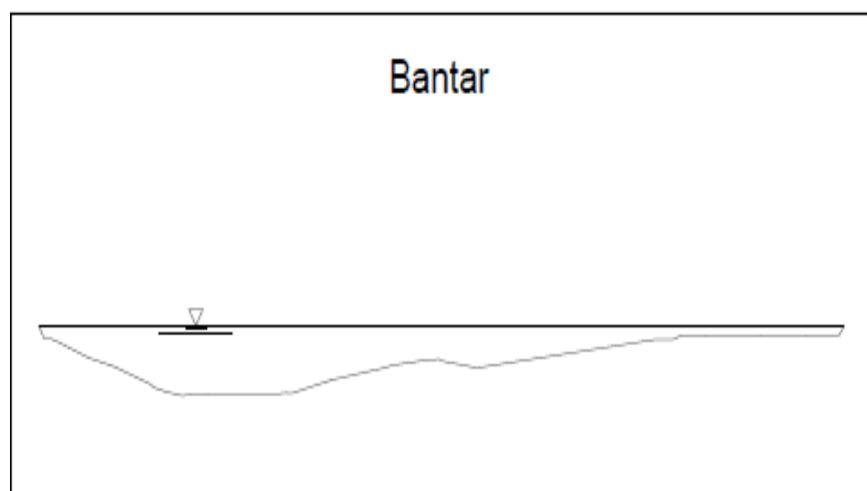
Data pada tabel tersebut

Luasan penampang

 diolah kembali menggunakan *software Autocad 2010* untuk menghasilkan gambar penampang, menghitung keliling basah dan menghitung luasannya. Berikut hasil pengolahan data menggunakan *software Autocad 2010* yang meliputi gambar penampang, menghitung keliling basah dan menghitung luasannya pada pias Kebon Agung dan Bantar:



Gambar 5.10 Penampang basah pias Kebon Agung 1



Gambar 5.11 Penampang basah pias Bantar

Tabel 5.2 Luas penampang

Bagian	Luasan (m ²)	Kel. Basah (m)
Bantar Hulu	221.843	84,61
Kebon Agung 2	199.891	55,79

aliran

Sumber : Penelitian lapangan

3. Debit aliran.

Debit aliran didapat dari hasil perkalian kecepatan aliran dengan luas penampang basah aliran. Pada penelitian ini perhitungan debit diambil di daerah Kebon Agung 1:

$$Q = A \times v$$

$$\begin{aligned} \text{Debit pias Kebon Agung 1} &= 199,891 \times 1,155 \\ &= 230,894 \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

4. Kemiringan dasar atau slope (S)

Slope atau kemiringan dasar sungai didapat dari selisih antara elevasi penampang dibagai dengan jarak antar penampang:

$$S = \frac{\text{elevasi atas} - \text{elevasi bawah}}{\text{jarak}}$$

Untuk mendapatkan elevasi tersebut digunakan metode pengikatan titik elevasi muka air dengan *software Arcgis 10.1*. Pada penelitian ini jarak antara kontur terdekat dengan titik tepi penampang di pias Bantar kurang dari 12 meter. Jadi elevasi titik tepi penampang diasumsikan sama dengan elevasi kontur terdekat. Sedangkan pada pias Kebon Agung 2 terdapat salah satu titik tepi yang jaraknya lebih dari 12 meter dari kontur terdekatnya, maka perlu dilakukan interpolasi kontur. Adapun langkah – langkah untuk mendapatkan elevasi tepi penampang adalah sebagai berikut:

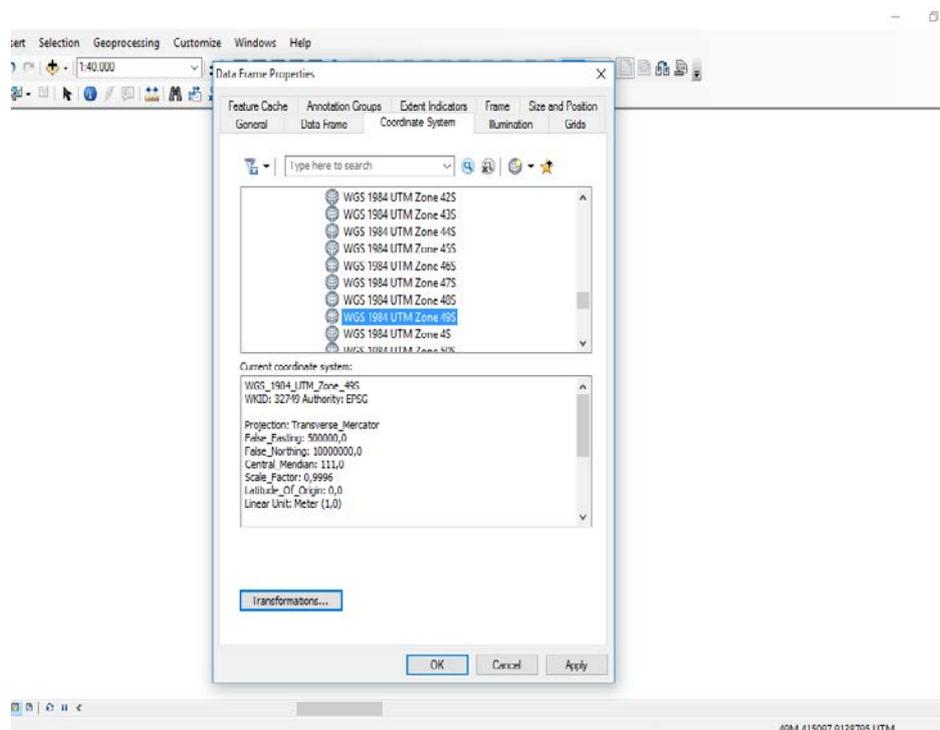
- a. Catat titik koordinat penampang yang telah didapat dari *software Surface Modeling System* atau *SMS*.

Tabel 5.3 Titik koordinat tiap tepi penampang

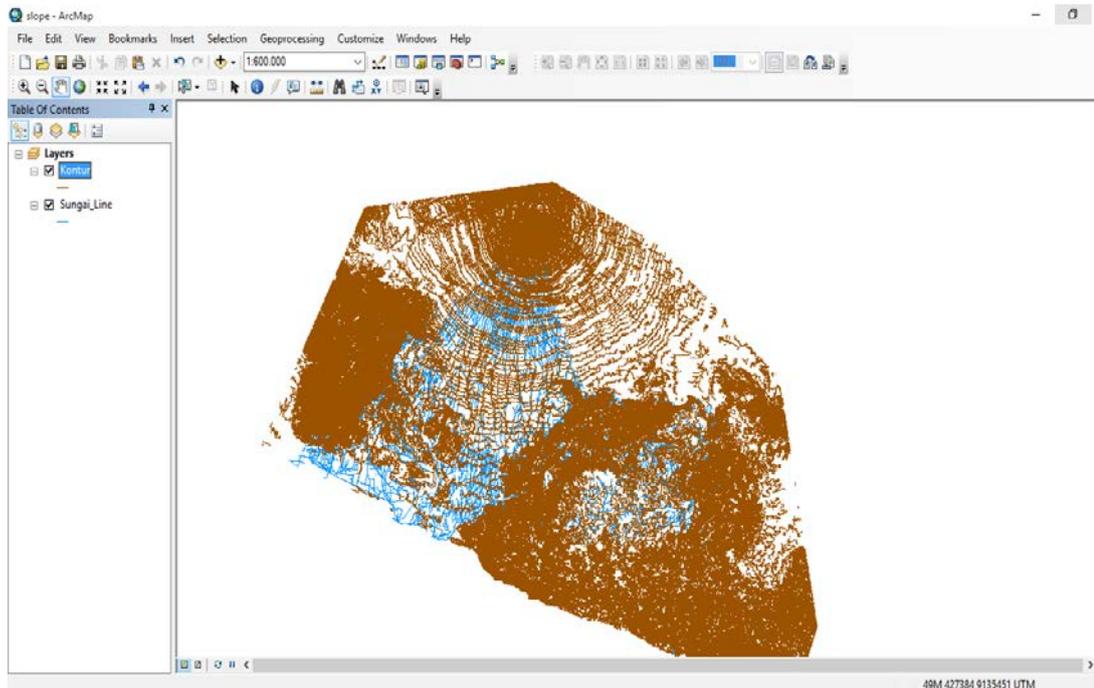
pias	Koordinat
Kebon Agung 1 titik 1	49M 413783 9142944
Kebon Agung 1 titik 2	49M 413822 9142969
Bantar titik 1	49M 415473 9135303
Bantar titik 2	49M 415554 9135306

Sumber: Pengolahan data

- b. Buka *ArcMap 10.1*, kemudian masukan data kontur dan sungai yang berbentuk *shapefile* sesuai daerah penampang yang ditinjau. Sebelumnya samakan koordinat didalam *ArcMap 10.1* dengan koordinat yang ada pada penampang sungai yang ditinjau.

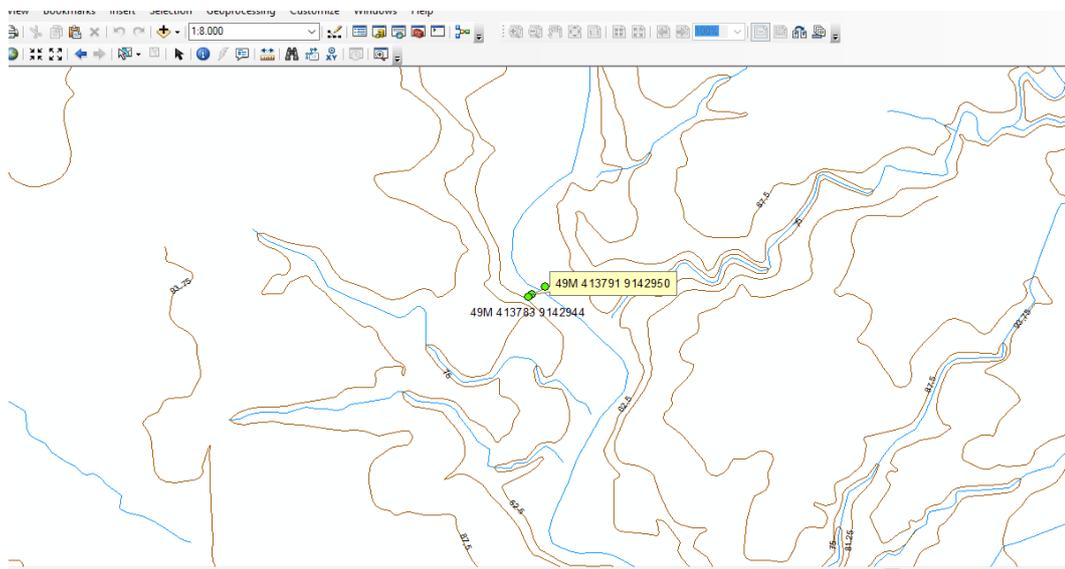


Gambar 5.12 Pengaturan koordinat pada *ArcMap 10.1*



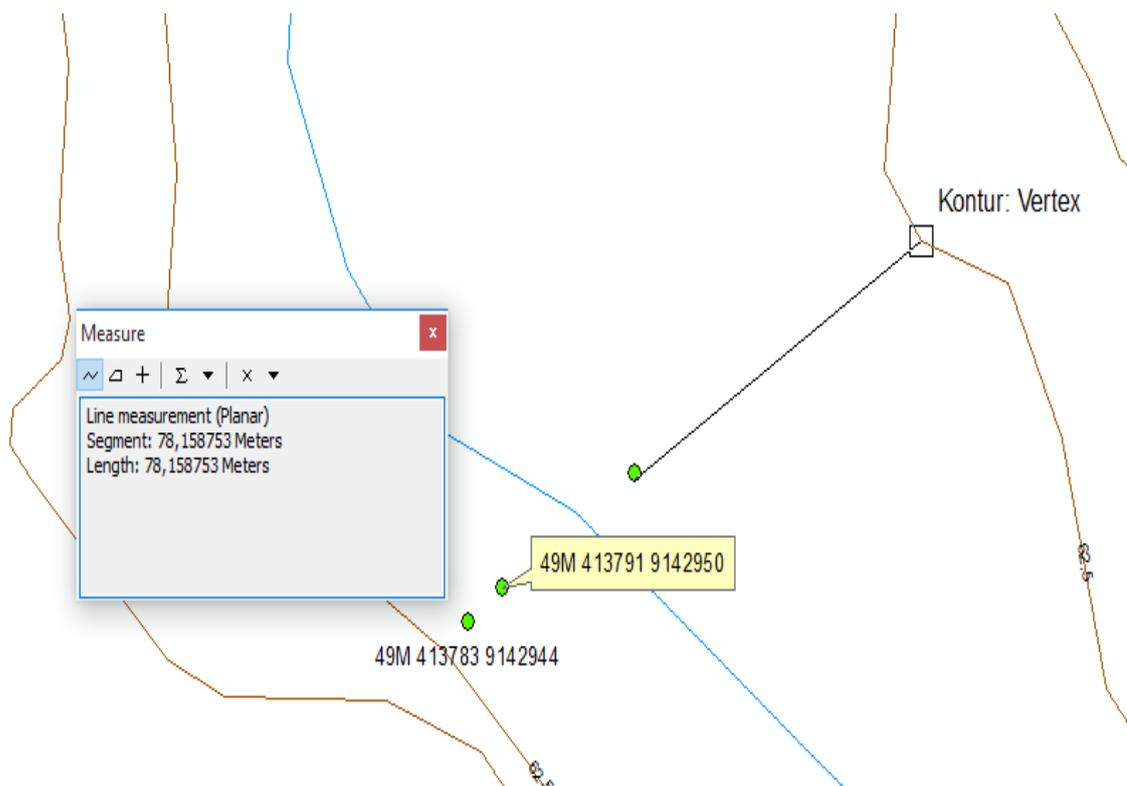
Gambar 5.13 Tampilan kontur dan sungai pada *ArcMap 10.1*

- c. Masukkan koordinat penampang pada *ArcMap 10.1*. Kemudian tandai dengan titik pada koordinat tersebut



Gambar 5.14 Penandaan koordinat ada *ArcMap 10.1*

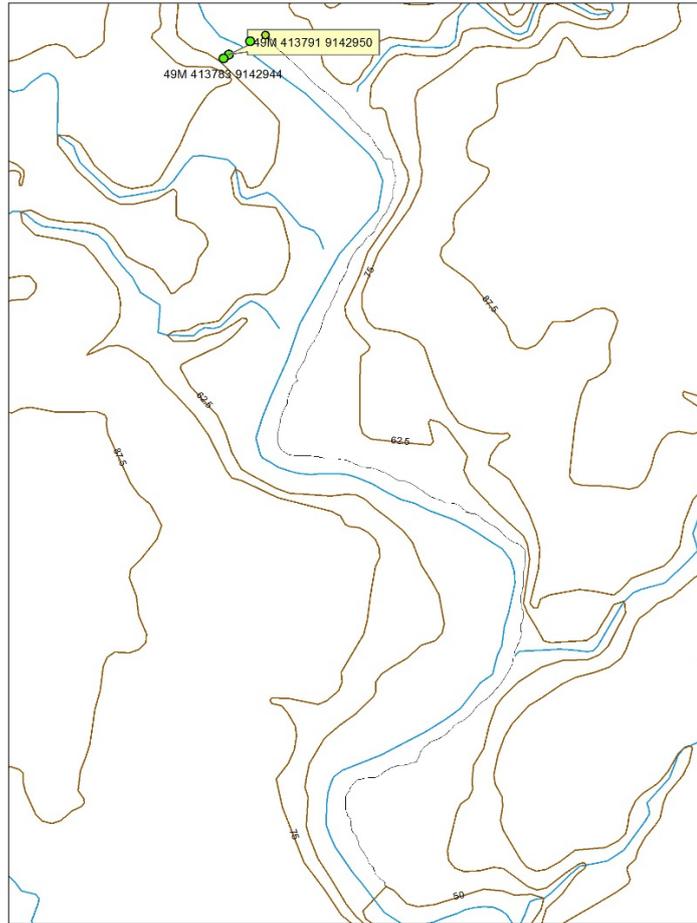
- d. Setelah itu ukur jarak ujung penampang dengan kontur terdekat. Jika jarak kurang dari 12 meter maka elevasi terdekat dari tepi penampang diasumsikan sama dengan elevasi tepi penampang. Elevasi tepi penampang diasumsikan sebagai elevasi tebing sungai. Jika jarak lebih dari 12 meter maka perlu dilakukan interpolasi dengan kontur terdekat.



Gambar 5.14 Pengukuran jarak antara kontur dengan titik penampang.

- e. Cara interpolasinya adalah dengan meneruskan kontur yang lebih rendah sampai titik tepi penampang yang ditinjau. Kemudian hitung titik elevasi tepi penampang tersebut dengan persamaan :

$$\text{elv. terdekat} + \frac{\text{jarak kontur terdekat}}{\text{jarak total}} \times (\text{elv. inggi} - \text{elv. rendah})$$



Gambar 5.15 Hasil penerusan kontur ke titik tepi penampang.

Slope yang didapat adalah slope aliran. Slope tersebut diasumsikan sebagai slope atau kemiringan sungai dari pias Kebon Agung 1 sampai Bantar. Dari langkah – langkah diatas dan penghitungan slope atau kemiringan sungai tersebut didapat nilai slope sebagai berikut :

Tabel 5.4 Nilai Slope aliran

Pias Bantar	
Bagian	kemiringan
Kebon Agung 2 – Bantar hulu	0.0021

Sumber: Penelitian Tugas Akhir 2017

B. Berat Jenis Sedimen

Untuk mengetahui berat jenis sedimen dilakukan pengujian berat jenis di laboratorium. Berat jenis merupakan perbandingan berat tanah kering dengan berat air pada volume yang sama dengan suhu tertentu. Contoh perhitungan diambil dari sampel sedimen dasar di pias Kebon Agung 1:

Tabel 5.5 Data pengujian berat jenis sedimen dasar pias Kebon Agung 1

No	Uraian	Satuan	Sampel 1 (mg)	Sampel 2 (mg)
1	Berat piknometer kosong (W1)	g	30	30
2	Berat piknometer + tanah kering (W2)	g	40	40
3	Berat piknometer + tanah + air (W3)	g	87,63	86
4	Berat piknometer + air (W4)	g	81,41	79,79
5	Temperatur (T)	°C	30	30

Sumber : Penelitian laboratorium

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis sampel 1} &= \frac{(w_2 - w_1)}{w_4 - [w_3 - (w_2 - w_1)]} \\ &= \frac{(40 - 30)}{81,41 - [87,63 - (40 - 30)]} \\ &= 2,65 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis sampel 2} &= \frac{(w_2 - w_1)}{w_4 - [w_3 - (w_2 - w_1)]} \\ &= \frac{(40 - 30)}{79,79 - [86 - (40 - 30)]} \\ &= 2,64 \end{aligned}$$

Dari hasil analisis diatas diperoleh nilai berat jenis pada sampel 1 sebesar 2,65 dan pada sampel 2 didapat 2,64 karena terdapat dua sampel sedimen dasar maka diambil nilai rata-rata. Dari kedua sampel tersebut didapat nilai berat jenis sebesar 2,64. Jika dilihat dari tabel klasifikasi tanah berdasarkan berat jenisnya, sampel sedimen dasar pada pias Kebon Agung 1 termasuk jenis lempung organik. Jenis – jenis tanah berdasarkan berat jenisnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 5.6

Klasifikasi berdasarkan jenisnya	Jenis tanah	Berat jenis (Gs)	tanah berat
	<i>Sand</i> (pasir)	2,65 – 2,67	
	<i>Silty sand</i> (pasir berlanau)	2,65 - 2,70	
	<i>Inorganic clay</i> (lempung organik)	2,58 – 2,65	
	<i>Soil with mica or iron</i>	2,75 – 3,00	
	Gambut	< 2,00	
	Humus	1,37	
	<i>Gravel</i> (kerikil)	> 2,70	

Sumber : Wesky, 1997

C. Distribusi Ukuran Butiran Sedimen

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan ukuran butiran sampel sedimen dasar. Pengujian ini dilakukan dengan uji saringan di laboratorium. Sampel yang akan diuji saringan haruslah dalam keadaan kering. Berikut merupakan hasil dari uji saringan pada sampel 1 pias Kebon Agung 1 :

Tabel 5.7 Data uji saringan sampel 1 pias Kebon Agung 1.

NO	ukuran saringan	Berat tertahan (gr)	% Berat Tertahan	% tertahan kumulatif	% lolos saringan
no. 2	50	0	0.000	0.000	100
no. 1 1/2	38.1	44	4.593	4.593	95,41
no. 1	25	179	18.685	23.278	76.72
no.7/8	22.4	79	8.246	31.524	68.48
no.5/8	16	39	4.071	35.595	64.41
no.7/16	11.2	14	1.461	37.056	62.94
no 5/16	8	14	1.461	38.518	61.48
no. 4	4.75	14	1.461	39.979	60.02
no. 8	2.36	14	1.461	41.441	58.56
no. 16	1.18	14	1.461	42.902	57.10
no.30	0.6	19	1.983	44.885	55.11
no. 50	0.3	34	3.549	48.434	51.57
no. 60	0.25	64	6.681	55.115	44.89
no. 80	0.18	180	18.789	73.904	26.10
no. 100	0.15	140	14.614	88.518	11.48
n0. 120	0.125	25	2.610	91.127	8.87

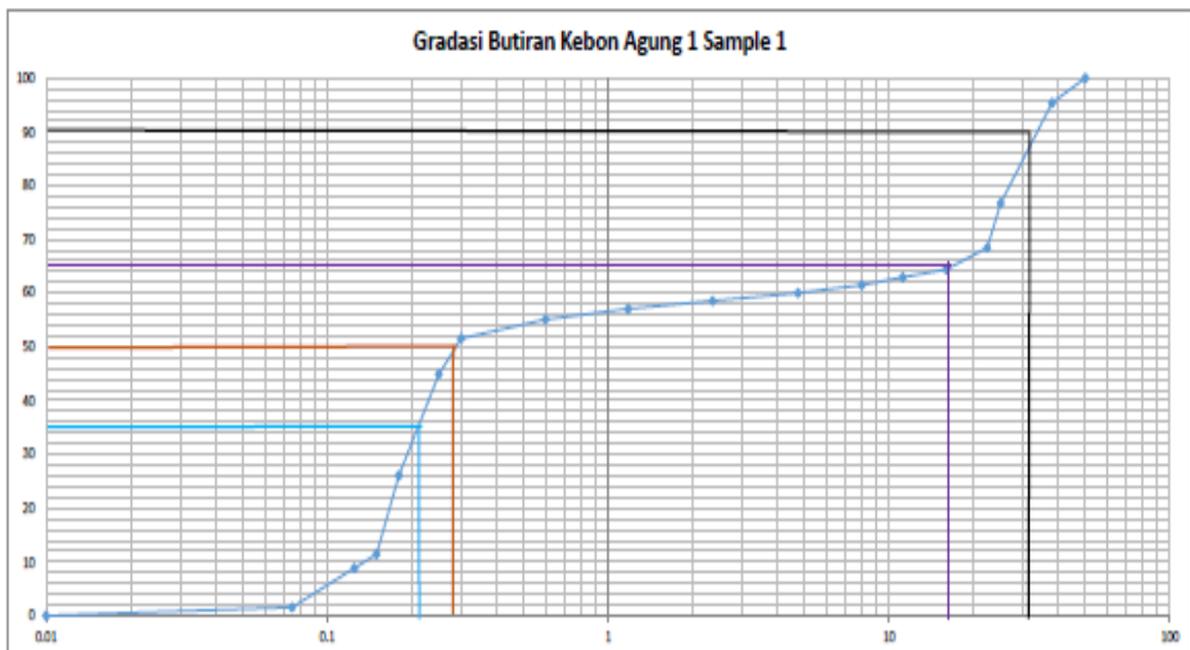
no. 200	0.075	70	7.307	98.434	1.57
pan	0.01	15	1.566	100.000	0.00
total =		958	100.000		

Sumber : Penelitian laboratorium

Contoh perhitungan :

- a. % berat tertahan = $\left(\frac{\text{berat tertahan}}{\text{berat sampel kering}}\right) \times 100$
- $$= \left(\frac{44}{958}\right) \times 100$$
- $$= 4,593$$
- b. % lolos = 100 - % Tertahan kumulatif
- $$= 100 - 4,593$$
- $$= 95$$

Kemudian untuk mendapatkan diameter representatif butiran sampel sedimen dasar, maka dibuat kurva distribusi ukuran butiran. Contoh kurva distribusi ukuran butiran yang diambil dari sampel 1 pada pias Kebon Agung 1 :



Gambar 5.16 Kurva distribusi butiran pias Kebon Agung 1 sampel 1

Dari kurva distribusi ukuran butiran tersebut didapat nilai:

$$D_{35} = 0.22 \text{ mm}$$

$$D_{50} = 0.28 \text{ mm}$$

$$D_{65} = 10,7 \text{ mm}$$

$$D_{90} = 12,3 \text{ mm}$$

Karena pada pias Kebon Agung 1 terdapat 2 sampel sedimen dasar maka hasil dari analisis saringan tersebut dirata – rata. Maka didapat:

Tabel 5.8 Diameter representatif

Kebon Agung 1			
Diameter representatif	Sampel 1 (mm)	Sampel 2 (mm)	Rata – rata (mm)
D35	0,22	0,21	0,22
D50	0,28	0,24	0,26
D65	10,7	0,28	5,49
D90	12,3	0,58	8,90

Sumber : Hasil Analisis Penelitian

Hasil perhitungan distribusi ukuran butiran sampel sedimen dasar di Sungai Progo pada titik Bantar dan Kebon Agung 1 selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran yang tersedia.

D. Perhitungan Angkutan Sedimen Dasar

Analisis perhitungan nilai angkutan sedimen dasar pada penelitian ini menggunakan 3 metode yaitu metode *Einstein*, *Meyer Peter Muller* dan *Frijlink*. Dari hasil perhitungan menggunakan ketiga metode tersebut dapat diketahui nilai angkutan sedimen dasar Progo hilir pada pias Kebon Agung 1 dan pias Bantar. Berikut merupakan contoh perhitungan angkutan sedimen dasar Progo hilir pada sisi Kebon Agung 1 dengan metode *Einstein*, *Meyer Peter Muller* dan *Frijlink*. :

1. Metode Einstein.

Diketahui :

$$\text{Luas penampang (A)} = 199.891 \text{ m}^2$$

Kecepatan Aliran (v)	= 0,98 m/det
Debit aliran (Q)	= 195,726m ³ /det
Lebar sungai (l)	= 44,333 m
Kemiringan / slope (S)	= 0,0021
Viscositas kekentalan air (μ)	= $0,82 \times 10^{-6}$ m ² /det
Rapat massa sedimen dasar (ρ)	= 2640 kg/m ³
Gravitas (g)	= 9,81 m/det
d_{35}	= 0,215 mm
d_{65}	= 5,49 mm

Interval Ukuran Butiran (mm)	Nilai Diameter Butir		
	mm	m	%
D1 (38,1 – 4,750)	17.22071	0.017221	23.105
D2 (2,360 – 0,300)	1.11000	0.00111	12.8401
D3 (0,250 – 0,010)	0.13167	0.000132	64.0545

Nilai Rb' atau nilai jari – jari hidraulik akibat pengaruh kekasaran butiran harus ditentukan terlebih dahulu dengan cara coba – coba sehingga hasil hitungan debit aliran yang didasarkan pada nilai Rb' hasilnya sama dengan nilai debit aliran yang diketahui dari hasil pengukuran dilapang ($Q_{hitung} = Q_{pengukuran}$).

$$Rb' = 0,200 \text{ m}$$

a. Kecepatan gesek akibat kekasaran butiran:

$$\begin{aligned} u' &= \sqrt{g Rb' S} \\ &= \sqrt{9,81 \times 0,200 \times 0,0021} \\ &= 0,0646 \text{ m/det} \end{aligned}$$

b. Tebal lapis sub viscositas :

$$\begin{aligned} \delta' &= \frac{11,6 \mu}{u'} \\ &= \frac{11,6 \times (0,82 \times 10^{-6})}{0,0728} \\ &= 0,147 \times 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$

Diketahui $k_s = d_{65} = 0,00549$ m

$$\begin{aligned}\frac{k_s}{\delta'} &= \frac{d_{65}}{\delta'} \\ &= \frac{0,00549}{0,000131} \\ &= 37,2984 \text{ m}\end{aligned}$$

Untuk nilai $k_s/\delta' = 37,2984$ dilihat dari gambar 3.2 didapat nilai faktor koreksi pengaruh viscositas (α) = 1.

- c. Kecepatan aliran rata – rata (v), dihitung dengan persamaan logaritmik:

$$\begin{aligned}v &= 5,75 u' \log\left(\frac{12,27 R b' x}{k_s}\right) \\ &= 5,75 \times 0,0728 \log\left(\frac{12,27 \times 0,254 \times 1,00}{0,00549}\right) \\ &= 0,985 \text{ m/det}\end{aligned}$$

- d. Intensitas aliran (Ψ):

Dimana $d_{35} = 0,215 \times 10^{-3}$ m

$$\begin{aligned}\Psi' &= \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \frac{d_{35}}{S R b'} \\ &= \frac{2640 - 1000}{1000} \times \frac{0,000215}{0,0021 \times 0,200} \\ &= 0,83\end{aligned}$$

Dari gambar 3.3 untuk nilai $\Psi' = 0,83$ maka didapat nilai perbandingan kecepatan rata – rata dengan kecepatan gesek akibat konfigurasi dasar sungai (v/u'') = 50.

- e. Kecepatan gesek akibat konfigurasi dasar sungai:

$$\begin{aligned}\frac{v}{u''} &= 50 \\ u'' &= \frac{1,153}{50} \\ &= 0,0197 \text{ m/det}\end{aligned}$$

- f. Jari – jari hidraulik akibat konfigurasi dasar sungai:

$$\begin{aligned}u'' &= \sqrt{g R b'' S} \longrightarrow R b'' = \frac{(u'')^2}{g S} \\ &= \frac{0,0197^2}{9,81 \times 0,0021} = 0,01858 \text{ m}\end{aligned}$$

g. Jari – jari total :

$$\begin{aligned} Rb &= Rb' + Rb'' \\ &= 0,200 + 0,01858 \\ &= 0,219 \text{ m} \end{aligned}$$

h. Kontrol hitungan debit:

$$\begin{aligned} Q &= A \cdot v_{rerata} \\ &= 199,891 \times 0,985 \\ &= 196,85 \text{ m}^3/\text{det} \approx 195,73 (Q_{hitungan} = Q_{pengukuran}) \longrightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

i. Jika nilai Rb' sudah didapat maka perhitungan angkutan sedimen dasar dengan metode *Einstein* dapat dilakukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Psi' &= \frac{\rho - \rho_s}{\rho} \frac{d_{35}}{S Rb'} \\ &= 1,64 \times \frac{0,215 \times 10^{-3}}{0,0021 \times 0,200} \\ &= 0,83 \end{aligned}$$

j. Kecepatan gesek akibat kekasaran butiran :

$$\begin{aligned} u' &= \sqrt{g Rb' S} \\ &= \sqrt{9,81 \times 0,200 \times 0,0021} \\ &= 0,065 \text{ m/det} \end{aligned}$$

k. Tebal lapis sub viscositas :

$$\begin{aligned} \delta' &= \frac{11,6 \mu}{u'} \\ &= \frac{11,6 \times (0,82 \times 10^{-6})}{0,065} \\ &= 0,00015 \text{ m} \end{aligned}$$

Diketahui $k_s = d_{65} = 0,00549 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \frac{k_s}{\delta'} &= \frac{d_{65}}{\delta'} \\ &= \frac{0,00549}{0,00015} \\ &= 37,2984 \text{ m} \end{aligned}$$

Dengan nilai $k_s/\delta' = 42,033$ dilihat dari gambar 3.2 maka diperoleh faktor koreksi pengaruh viskositas (x) = 1

$$\Delta = \frac{d_{65}}{x}$$

$$\Delta = \frac{5,49 \times 10^{-3}}{1,00}$$

$$= 0,00549\text{m}$$

$$\frac{\Delta}{\delta'} = \frac{0,039}{0,00015}$$

$$= 37,2984$$

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

$$= 0,77 \times 0,00549$$

$$= 0,004227\text{m}$$

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

$$= \left[\frac{\log(10,6)}{\log(10,6 \times \frac{0,004227}{0,00549})} \right]^2$$

$$= 1,2645$$

Untuk fraksi butiran $d_1 = 17,22071 \text{ mm} = 0,01722071 \text{ m}$

$$\Psi_1 = \frac{\rho - \rho_s}{\rho} \frac{d_1}{S R b'} = 66,341$$

$$\frac{d_1}{x} = \frac{0,01722071}{0,004227} = 4,0737$$

Untuk $\frac{d_1}{x} = 4,0737$ dari Gambar 3.4, diperoleh nilai *hiding factor* $\xi = 1$

$$\frac{K_s}{\delta'} = \frac{d_{65}}{\delta'} = \frac{0,00549}{0,00015} = 37,2984$$

Dari Gambar 3.5 diperoleh nilai koreksi gaya angkat (Y) = 0,5

Intensitas aliran yang telah dikoreksi dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\Psi'_{o1} = \xi_1 Y_1 \left(\frac{\beta}{\beta x}\right)^2 \Psi_1$$

$$\begin{aligned}\Psi'_{o1} &= 1 \times 0,5 \times 1,2645 \times 66,341 \\ &= 41,9436\end{aligned}$$

Dari gambar 3.6 untuk nilai $\Psi'_{o1} = 41,9436$, nilai θ diperoleh 0. Hal tersebut karena nilai berada di luar kurva. Selanjutnya besar angkutan sedimen dasar untuk fraksi butiran berukuran $d1$ adalah:

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

$$(i_b q_b)_1 = 0,231 \times 0 \times \left(\frac{2640}{9,81}\right) \times (9,81 \times 0,01722071)^{3/2} (1,64)^{1/2}$$

$$(i_b q_b)_1 = 0 \text{ kg/m.detik}$$

Untuk fraksi ukuran butiran, $d2 = 1,11 \text{ mm} = 0,0011 \text{ m}$

$$\Psi_2 = \frac{\rho - \rho_s}{\rho} \frac{d_2}{S R b'} = 4,2762$$

$$\frac{d_2}{x} = \frac{0,0011}{0,004227} = 0,2626$$

Untuk $\frac{d_2}{x} = \frac{0,0011}{0,004227} = 0,2626$ maka diperoleh nilai *hiding factor* ξ

dari gambar 3.4 = 20

$$\frac{Ks}{\delta'} = \frac{d_{65}}{\delta'} = \frac{0,00549}{0,00015} = 37,2984$$

Dari Gambar 3.5 diperoleh nilai koreksi gaya angkat(Y) = 0,5

Intensitas aliran yang telah dikoreksi

$$\Psi'_{o2} = \xi_2 Y_2 \left(\frac{\beta}{\beta x}\right)^2 \Psi_2$$

$$= 20 \times 0,5 \times 1,2645 \times 4,2762$$

$$= 54,0714$$

Untuk $\Psi'_{o,2} = 42,5759$ dari Gambar 3.6 diperoleh nilai $\theta = 0$. Hal tersebut karena nilai berada diluar kurva. Selanjutnya besar angkutan sedimen untuk fraksi butiran d2.

$$(i_b q_b)_2 = i_b \Phi_{o,1} \rho_s (g d_2)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{\rho - \rho_s}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$(i_b q_b)_2 = 0,1284 \times 0 \times \left(\frac{2640}{9,81} \right) \times (9,81 \times 0,00111)^{3/2} (1,64)^{1/2}$$

$$(i_b q_b)_2 = 0 \text{ kg/m.detik}$$

Untuk fraksi ukuran butiran, $d_3 = 0,13 \text{ mm} = 0,00013 \text{ m}$

$$\Psi_3 = \frac{\rho - \rho_s}{\rho} \frac{d_3}{S R b'} = 0,5072$$

$$\frac{d_3}{x} = \frac{0,00013}{0,004227} = 0,311$$

Untuk $\frac{d_3}{x} = \frac{0,00013}{0,004227} = 0,311$ maka diperoleh nilai *hiding factor* ξ dari gambar 3.4 = 10

$$\frac{K_s}{\delta'} = \frac{d_{65}}{\delta'} = \frac{0,00549}{0,000131} = 37,2984$$

Dari Gambar 3.5 diperoleh nilai koreksi gaya angkat (Y) = 0,5

Intensitas aliran yang telah dikoreksi

$$\Psi'_{o,3} = \xi_2 Y_2 \left(\frac{\beta}{\beta x} \right)^2 \Psi_3$$

$$= 10 \times 0,5 \times 1,2645 \times 0,5072$$

$$= 3,2069$$

Untuk $\Psi'_{o,3} = 2,5251$ dari Gambar 3.6 diperoleh nilai $\theta = 2,4$. Selanjutnya besar angkutan sedimen untuk fraksi butiran d3.

$$(i_b q_b)_3 = i_b \Phi_{o,1} \rho_s (g d_1)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{\rho - \rho_s}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$(i_b q_b)_3 = 0,6405 \times 2,4 \times \left(\frac{2640}{9,81} \right) \times (9,81 \times 0,000132)^{3/2} (1,64)^{1/2}$$

$$(i_b q_b)_3 = 0,02459433 \text{ kg/m.detik}$$

Setelah besar angkutan sedimen dasar diperoleh maka dijumlahkan besar angkutan sedimen dasar seluruh fraksi

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

$$(i_b q_b)_{\text{tot}} = 0 + 0 + 0,02459433$$

$$(i_b q_b)_{\text{tot}} = 0,02459433 \text{ kg/m.detik}$$

Jadi besar angkutan sedimen pada pias jembatan Kebon Agung 1 adalah:

$$q_b \text{ tot} = \Sigma(i_b q_b) \times 60 \times 60 \times 24 \times b$$

$$= 0,02459433 \times 60 \times 60 \times 24 \times 44,33$$

$$q_b \text{ tot} = 94205,39419 \text{ kg/hari}$$

$$= 94,20539419 \text{ ton/hari}$$

$$= 94,20539419 \div 1,64 = 57,44231353 \text{ m}^3/\text{hari (solid)}$$

Hasil dari analisis angkutan sedimen dasar dengan metode ini di sungai Progo bagian hilir pada pias Bantar selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran.

2. Metode Meyer Peter Muller.

Diketahui :

$$\text{Luas tampang (A)} = 199,891 \text{ m}^2$$

$$\text{Kecepatan (v)} = 0,98 \text{ m/det}$$

$$\text{Debit aliran (Q)} = 195,7262 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$\text{Keliling basah (p)} = 55,793 \text{ m}$$

$$\text{Lebar sungai (l)} = 44,333 \text{ m}$$

$$\text{Kemiringan / slope (S)} = 0,0021$$

$$\text{Rapat massa sedimen dasar (} \rho \text{)} = 2640 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Gravitas (g)} = 9,81 \text{ m/det}$$

$$d_{90} = 8,895 \text{ mm}$$

$$d_{50} = 0,26 \text{ mm}$$

- a. Mencari nilai jari – jari hidraulik:

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

$$A = 199,891 \text{ m}^2$$

$$P = 55,793 \text{ m}$$

$$R = \frac{199,891}{55,793}$$

$$= 3,583 \text{ m}$$

- 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.

$$k_s = \frac{v}{Rb^{2/3} I^{1/2}}$$

$$= \frac{0,98}{3,583^{2/3} \times 0,0021^{1/2}}$$

$$= 9,03007 \text{ m/det}$$

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

$$= \frac{26}{0,0089^{1/6}}$$

$$= 57,209 \text{ m/det}$$

$$\mu = \left(\frac{9,03007}{57,209} \right)^{3/2}$$

$$= 0,0627$$

- c. Menghitung nilai angkutan sedimen dasar;

$$\text{Nilai } \frac{Q_s}{Q} = \frac{R}{h} = 0,874$$

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

$$1 \times 0,874 \times 0,0627 \times 4,097 \times 0,0021 =$$

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

$$0,000478 = 0,00001992 + 0,1169 \times (T_b)^{2/3}$$

$$T_b = 2,452 \times 10^{-4} \text{ ton/m.det}$$

$$T_{b \text{ total}} = 2,452 \times 10^{-4} \times 44,333$$

$$= 0,01087 \text{ ton/det}$$

$$T_{b \text{ perhari}} = 0,01087 \times 24 \times 3600$$

$$= 939,247 \text{ ton/hari}$$

$$= 939,247 \div 1,64 = 572,711 \text{ m}^3/\text{hari (solid)}$$

Hasil dari analisis angkutan sedimen dasar dengan metode ini di sungai Progo bagian hilir pada pias Bantar selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran.

3. Metode Frijlink.

Diketahui:

Luas tampang (A)	= 199,891m ²
Kecepatan (v)	= 0,98 m/det
Debit aliran (Q)	= 195,726 m ³ /det
Keliling basah (p)	= 55,793 m
Lebar sungai (l)	= 44,333 m
Kemiringan / slope (S)	= 0,0021
Rapat massa sedimen dasar (ρ)	= 2640 kg/m ³
Gravitas (g)	= 9,81 m/det
d_{90}	= 8,895 mm

$$d_{50} = 0,26 \text{ mm}$$

$$\mu = 0,0802$$

a. Mencari intensitas aliran:

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

$$= \frac{1,64 \times (0,26 \times 10^{-3})}{0,0627 \times 3,583 \times 0,0021}$$

$$= 0,8924$$

Dengan nilai $\Psi = 0,8924$ maka dari gambar 3.7 didapat nilai $\Phi = 4,5$

b. Menghitung nilai angkutan sedimen:

$$T_b = \Phi d_{50} \sqrt{g \mu R I}$$

$$= 4,5 \times (0,26 \times 10^{-3}) \sqrt{9,81 \times 0,0802 \times 3,583 \times 0,0021}$$

$$= 8,01 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m.det}$$

$$\text{Total } T_b = 60 \times (8,01 \times 10^{-5})$$

$$= 3,551 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$$

$$\text{Dalam 1 hari} = 24 \times 60 \times 60 \times 3,51 \times 10^{-3}$$

$$= 306,816 \text{ m}^3/\text{hari}$$

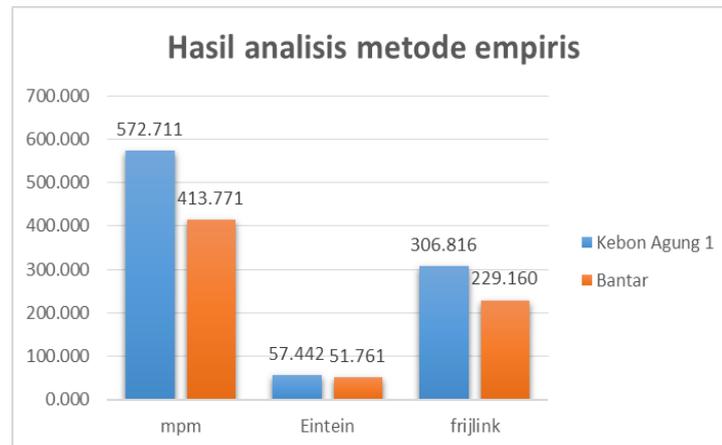
Hasil dari analisis angkutan sedimen dasar dengan metode ini di sungai Progo bagian hilir pada pias Bantar selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran.

Dari hasil perhitungan angkutan sedimen dasar sungai Progo hilir pada pias Kebon Agung 1 sampai Bantar dengan metode empiris didapat hasil:

Tabel 5.9 Hasil perhitungan angkutan sedimen dasar

no	Metode	pias		selisih m3
		Kebon Agung 1 (m3/hari)	Bantar (m3/hari)	
1	Meyer Peter Muller	572,711	413,771	158,941
2	Einstein	57.442	51.761	5,681
3	Frijlink	306,816	229,160	77,656

Sumber: Hasil Analisis Hitungan



Gambar 5.17 Grafik nilai angkutan sedimen dasar dengan metode empiris.

Jika dilihat dari grafik diatas, nilai angkutan sedimen dasar pada metode *Einstein* lebih kecil dari metode *Meyer Peter Muller* dan *Frijlink*. Hal tersebut karena pada metode *Einstein* digunakan nilai jari – jari hidraulik coba – coba yang nilainya lebih kecil dari jari – jari hidraulik pada metode *Meyer Peter Muller* ataupun metode *Frijlink*. Selain itu diameter butiran yang dipakai di metode *Einstein* lebih beragam dari metode yang lainnya.

E. Perubahan Elevasi Dasar Sungai.

Dalam buku *consulting service for MT.MERAPI AND MT SEMERU VOLCANIC COUNTERMEASURES PROJECT (MT MERAPI PROJECT)* dilakukan pengukuran elevasi kedalaman dasar dan kedalaman rata – rata sebagai berikut:

Tabel 5.10 Pengukuran elevasi dasar sungai Progo tahun 2000

Struktur	Dasar sungai pada tahun 2000	
	Terendah (Elv.m)	Rata – rata (Elv.m)
Jembatan Srandakan	-0,295	6,00
Kamijoro	20,570	23,30
Jembatan Bantar	34,650	36,30
Jembatan Kebon Agung dan Groundsill	51,880	52,00

*Sumber : Consulting service for MT.MERAPI AND MT SEMERU
VOLCANIC COUNTERMEASURES PROJECT (phase II), 2001*

Dari pengukuran dilapangan pada tanggal 10 April 2017 dengan alat *echo sounding*, pada pias Kebon Agung 1 dan Bantar didapat data sebagai berikut:

Tabel 5.11 Perbandingan elevasi dasar sungai Progo

Struktur	Dasar sungai 2000		Dasar sungai 2017		Selisih (m)	
	Elv. Terendah (m)	Elv. Rata - rata (m)	Elv. Terendah (m)	Elv. Rata - rata (m)	Elv. Terendah (m)	Elv. Rata - rata (m)
Jembata Bantar	34.650	36.300	32.186	34.560	2.464	1.740
Jembatan Kebon Agung dan Grounsill	51.880	52.000	54.781	58.402	-2.901	-6.402

Sumber : Hasil analisis hitungan

Dilihat dari tabel 5.8 dan tabel 5.9 terdapat perbedaan nilai elevasi terendah dan elevasi rata – rata. Hal tersebut diakibatkan dari kegiatan angkutan sedimen yang terjadi pada titik tersebut dan dari erupsi gunung merapi tahun 2010 yang membawa material sedimen cukup banyak yang masuk kedalamn aliran sungai Progo.