

## BAB V

### HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### A. Morfologi Sungai

Perhitungan ini akan menjelaskan langkah-langkah perhitungan hidrometri dan menentukan tipe morfologi Sungai Progo. Contoh perhitungan diambil dari data pada titik 3 di Jembatan Kebon Agung 1.

#### 1. Perhitungan hidrometri

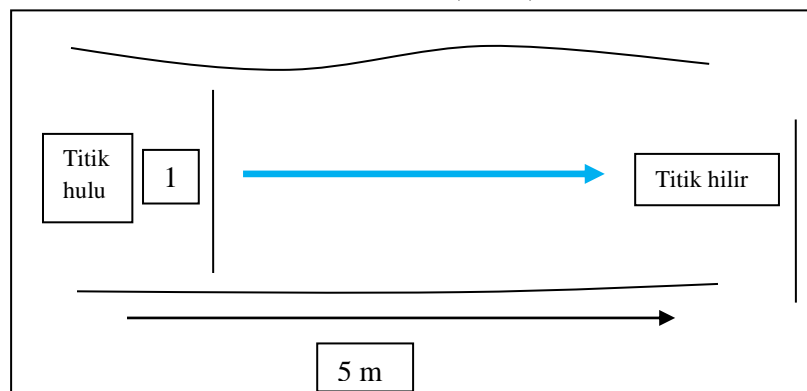
##### a. Kecepatan aliran

Pengukuran hidrometri pada penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan data kecepatan aliran ( $v$ ), debit aliran ( $Q$ ) dan angkutan sedimen. Data di pengukuran di lapangan pertemuan Sungai Pabelan dan Sungai Progo ditampilkan dalam Tabel 5.1:

Tabel 5.1 Hasil pengukuran di lapangan titik 3 (Jembatan Kebon Agung I)

Aliran	
L = Jarak (m)	t = Waktu (d)
5	8,18
5	8,27
5	8,62

Sumber: Hasil Analisis Penelitian (2017)



Gambar 5.1 Ilustrasi pengambilan data kecepatan aliran



Gambar 5.2 Pengambilan data kecepatan aliran di Jembatan Kebon Agung 1

Kecepatan Aliran,  $V = \frac{L}{T}$  .....Persamaan 3.4

dengan:

$V$  = kecepatan aliran (m/detik)

$L$  = jarak (m)

$T$  = waktu (detik)

Contoh perhitungan kecepatan aliran pada pertemuan Sungai Progo – Pabelan:

$$\text{Aliran} = \left( \frac{5}{8,18} + \frac{5}{8,27} + \frac{5}{8,62} \right)$$

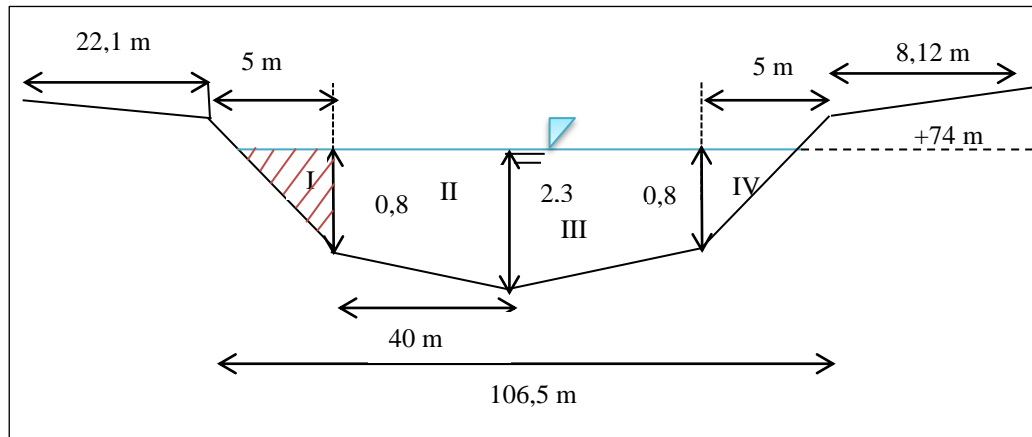
$$\begin{aligned} V \text{ permukaan} &= \left( \frac{0,611 + 0,604 + 0,580}{3} \right) \\ &= 0,598 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

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.

$$\begin{aligned} V \text{ rata-rata Aliran 1} &= 0,598 \cdot 0,90 \\ &= 0,538 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

b. Luas penampang basah aliran sungai

Dari pengukuran di lapangan pada lokasi Jembatan Kebon Agung I diperoleh data sebagai berikut: kedalaman aliran bagian kiri = 0,8 m, kedalaman aliran bagian tengah = 2,3 m, kedalaman aliran bagian kanan = 0,8 m, lebar dasar saluran = 106,5 m, dan



Gambar 5.3 Sketsa Penampang Melintang Sungai Progo titik Jembatan Kebon Agung I

Contoh perhitungan luas penampang aliran segmen Jembatan Kebon Agung I:

$$\begin{aligned} \text{Luas Segmen I : } A &= \frac{\text{Alas} \times \text{tinggi}}{2} \\ &= \frac{0,8 \times 5}{2} \\ &= 2 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Segmen II : } A &= \frac{\text{Jumlah sisi sejajar} \times \text{tinggi}}{2} \\ &= \frac{(0,8+2,3) \times 40}{2} \\ &= 62 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Segmen III : } A &= \frac{\text{Jumlah sisi sejajar} \times \text{tinggi}}{2} \\ &= \frac{(0,8+2,3) \times 56,5}{2} \\ &= 87,575 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas Segmen IV: } A &= \frac{\text{Alas} \times \text{tinggi}}{2} \\ &= \frac{0,8 \times 5}{2} \\ &= 2 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Total luas penampang sungai adalah 153,575 m<sup>2</sup>

c. Debit

$$Q = A \times V \dots \dots \dots \text{Persamaan 3.5}$$

dengan:

$Q$  = debit aliran (m<sup>3</sup>/detik)

$A$  = luas penampang aliran (m<sup>2</sup>)

$V$  = kecepatan rata-rata (m/detik)

$$\begin{aligned}Q &= A \cdot V \\ &= 0,598 \times 153,575 \\ &= 91,88735 \text{ m}^3/\text{detik}\end{aligned}$$

Hasil perhitungan hidrometri Sungai Progo selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran .

## 2. Analisis perhitungan morfologi

a. Menghitung *Entrenchment Ratio*

$$\text{Aliran 1, } \textit{Entrenchment Ratio} = \frac{\text{Lebar aliran banjir}(Wfpa)}{\text{Lebar aliran sungai}(Wbkf)} \dots \dots \text{Persamaan 3.1}$$

$$= \frac{131,2 \text{ m}}{106,5 \text{ m}}$$

$$= 1,233 \text{ (Tipe sungai A, F, G)}$$

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

$$\text{Aliran 1, } \textit{Width/Depth Ratio} = \frac{\text{Lebar aliran sungai}(Wbkf)}{\text{kedalaman aliran}(Dbkf)} \dots \dots \text{Persamaan 3.2}$$

$$= \frac{106,5}{0,8}$$

$$= 133,125 \text{ (Tipe sungai D)}$$

c. Menghitung kemiringan sungai (*slope*)

Menghitung kemiringan dilakukan per titik tinjauan dengan jarak 200 m dan penentuan elevasi atas dengan estimasi +100 m di atas permukaan air laut. Pengambilan data dilakukan dengan jarak 20 m dengan jarak total 200 m.

$$\begin{aligned} \text{Kemiringan Aliran} &= \frac{\text{elevasi atas} - (\text{elevasi bawah})}{10} \times 100\% \\ &= \frac{74 - 70}{200} \times 100\% \\ &= 2\% \rightarrow (\text{Tipe sungai B, dan G}) \end{aligned}$$

d. Menentukan jenis butiran material permukaan yang dominan (D-50).

Dari grafik analisis ukuran butiran pada Sungai Progo Segmen Jembatan Kebon Agung I, diketahui nilai D-50 = 0,24 mm. Jadi dapat disimpulkan bahwa material dasar permukaan yang dominan adalah material pasir berukuran kurang lebih 0,24 mm, sehingga morfologi Sungai Pabelan pada Titik 1 (pertemuan Sungai Pabelan-Progo) adalah sungai tipe D5b. Hasil perhitungan Morfologi Sungai Progo selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3.

Tabel 5.2 Hasil Perhitungan *Entrenchement Ratio* dan *W/D Ratio* Sungai Progo

No	Segmen	Lebar Aliran Banjir (m)	Lebar Aliran Sungai (m)	Kedalaman Aliran (m)	<i>Entrenchement Ratio</i>		<i>W/D Ratio</i>	
					Nilai	Klasifikasi	Nilai	Klasifikasi
1	Jembatan Kebon Agung 1	131,2	106,5	2,3	1,233	A, F, G	133,25	D
2	Pertemuan Sungai Progo – Putih	96,93	80,38	0,9	1,205	A, F, G	100,475	D
3	Pertemuan Sungai Progo – Pabelan	99,04	91,44	1,5	1,083	A, F, G	60,96	D

Sumber: Hasil Analisis Penelitian (2017)

Tabel 5.3 Hasil Perhitungan Kemiringan Dasar Sungai/*Slope*, Material Dominan (d50), dan Tipe Morfologi Sungai Progo

No	Segmen	Kemiringan Dasar Sungai/ <i>Slope</i>				Klasifikasi	Material Dominan(d50)		Tipe Morfologi Sungai
		Elevasi Awal (m)	Elevasi Akhir (m)	Panjang (m)	Nilai (%)		Ukuran (mm)	Klasifikasi	
1	Jembatan Kebon Agung 1	74	70	200	2	B,G	0,24	Pasir	F5 <sub>b</sub>
2	Pertemuan Sungai Progo - Putih	201	194,767	200	1,65	C,E,F	0,76	Pasir	F5 <sub>b</sub>
3	Pertemuan Sungai Progo - Pabelan	226	224,638	200	0,681	C,E,F	0,36	Pasir	F5

Sumber: Hasil Analisis Penelitian (2017)

Dari hasil analisis tipe Morfologi sungai menurut Rosgen (1996),didapatkan hasil pada titik 1 yaitu tipe morfologi D5<sub>b</sub> yaitu sungai yang memiliki satu aliran dan mempunyai lebar yang besar dengan kedalaman yang tidak terlalu dalam,selain itu pada titik 1 memiliki pasir sebagai sedimen dasar sungai dominannya serta memiliki kemiringan sungai yang landai.Pada titik 2 memiliki tipe morfologi D5<sub>b</sub> yang sama dengan titik 1 yaitu sungai yang memiliki satu aliran dan mempunyai lebar yang besar dengan kedalaman yang tidak terlalu dalam dan memiliki pasir sebagai sedimen dasar sungainya serta memiliki kemiringan sungai yang landai.Pada titik 3 sungai memiliki tipe morfologi D5 yaitu sungai yang memiliki satu aliran dan mempunyai lebar yang besar dengan kedalaman yang tidak terlalu dalam dan memiliki pasir sebagai sedimen dasar sungainya serta memiliki kemiringan sungai yang lebih curam daripada di titik 1 dan titik 2.Berikut ini merupakan perbandingan antara hasil analisis 2017 dengan hasil analisis oleh Galih Wicaksono 2012.Seperti yang terdapat pada tabel 5.4 sampai tabel 5.7

Tabel 5.4 Perbandingan *Entrenchment Ratio*

Lokasi	2012	Tipe	2017	Tipe
Titik 1	3,35	C,D,E	1,233	A,F,G
Titik 2	3,73	C,D,E	1,205	A,F,G
Titik 3	1,26	A,F,G	1,083	A,F,G

Tabel 5.5 Perbandingan W/D Ratio

Lokasi	2012	Tipe	2017	Tipe
Titik 1	72,733	D	133,25	D
Titik 2	23,91	B,C,F	100,475	D
Titik 3	261	D	60,96	D

Sumber: Galih (2012) dan Hasil Analisis Penelitian (2017)

Tabel 5.6 Perbandingan Diameter Butiran Dominan (D50)

Lokasi	D50(2012)	Material	D50(2017)	Material
Titik 1	0,3	Pasir	0,24	Pasir
Titik 2	0,25	Pasir	0,23	Pasir
Titik 3	0,38	Pasir	0,36	Pasir

Sumber: Galih (2012) dan Hasil Analisis Penelitian (2017)

Tabel 5.7 Perbandingan Tipe Morfologi

Lokasi	2012	2017
Titik 1	D5	F5 <sub>b</sub>
Titik 2	C5 <sub>b</sub>	F5 <sub>b</sub>
Titik 3	F5	F5

Sumber: Galih (2012) dan Hasil Analisis Penelitian (2017)

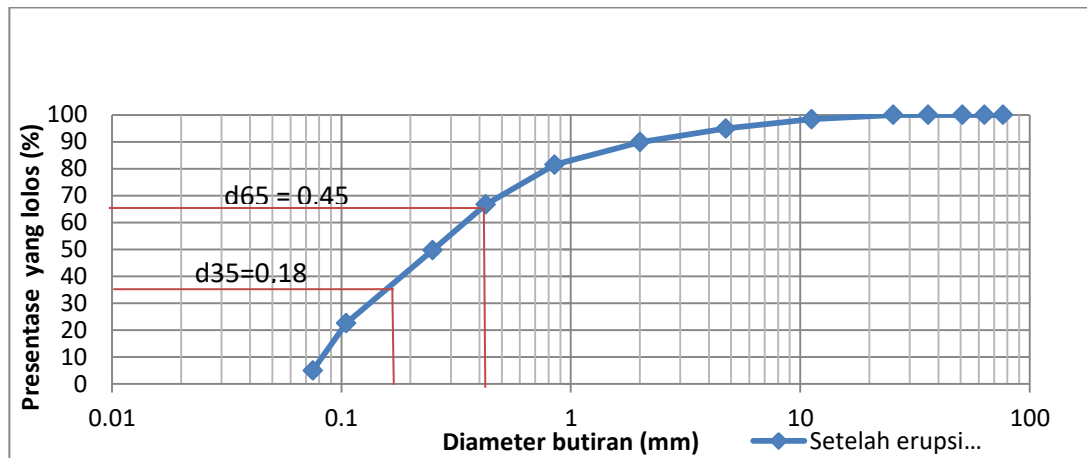
Terdapat perubahan tipe morfologi antara tahun 2017 dengan tahun 2012 hal ini bisa disebabkan karena aliran air sungai berubah hal ini mengakibatkan berubahnya penampang sungai, selain itu juga bisa disebabkan karena sedimen yang mengalir sungai tersebut, karena sedimen yang mengalir merupakan faktor penting yang mempengaruhi perubahan tipe morfologi sungai

## B. Angkutan Sedimen

Contoh perhitungan angkutan sedimen pada Sungai Progo, Segmen Jembatan Kebon Agung I. Diketahui:

- Debit aliran ( $Q$ ),  $= 91,88735 \text{ m}^3/\text{detik}$
- Lebar aliran sungai,  $= 106,5 \text{ m}$
- Kemiringan dasar ( $S$ ),  $= 2,44\% (0,0244)$
- Viskositas air ( $\mu$ )  $= 1,00 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

- e. Rapat massa rata-rata sedimen dasar sungai,  $\rho \int_s = 2650 \text{ kg/m}^3$
- f. Dengan  $d_{35} = 0,18 \text{ mm}$  dan  $d_{65} = 0,45 \text{ mm}$  dari grafik distribusi ukuran butiran.



Gambar 5.4  $D_{35}$  dan  $D_{65}$  pada grafik distribusi ukuran butir pada Sungai Progo (Jembatan Kebon Agung I)

- g. Gradasi ukuran butir hasil analisis saringan.

Tabel 5.8 Analisis saringan pada titik 3 Jembatan Kebon Agung I

Interval ukuran butiran (mm)	Ukuran butiran rata-rata (mm)	% Material
19,1- 4,75	11,517	5,08%
2,35 - 0,425	1,138	28,218%
0,3 - 0,075	0,1755	66,702%

Sumber: Hasil Analisis Penelitian (2017)

Nilai  $R_b'$  yaitu jari-jari hidrolis akibat kekasaran butiran (*grain roughness*) terlebih dahulu harus ditentukan.  $R_b'$  dapat ditentukan dengan cara coba-coba menurut metode Einstein-Babrossa (1952). Sehingga hasil hitungan debit aliran yang didasarkan  $R_b'$  nilainya sama atau mendekati dengan debit aliran yang diketahui.

Contoh Angkutan sedimen dasar segmen Jembatan Kebon Agung:

Dimisalkan,  $R_b' = 0,1957 \text{ m}$

- a. Kecepatan gesek akibat kekasaran butiran:

$$U_o' = \sqrt{gR_b' S} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.8}$$

dengan:

$U_o'$  = kecepatan gesek akibat kekasaran butiran.



$g$  = percepatan gravitasi.

$S$  = *slope*/kemiringan dasar saluran.

$$U_0' = \sqrt{9,8 \times 0,1957 \times 0,02}$$

$$= 0,19595 \text{ m/detik}$$

Tebal lapisan *sub-viscous*:

$$\delta = \frac{11,6\mu}{u_0'} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.9}$$

dengan:

$\delta'$  = tebal lapisan *sub viscous*.

$\mu$  = viskositas/kekentalan air.

$U_0'$  = kecepatan gesek akibat kekasaran butiran.

$$\delta' = \frac{11,6 \times 1,00 \times 10^{-3}}{0,19595}$$

$$= 0,00005919 \text{ m}$$

Diketahui  $k_s = d_{65} = 0,45 \times 10^{-3}$

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

dengan:

$k_s$  = kekasaran butiran.

$\delta$  = tebal lapisan *sub viscous*.

$$\frac{k_s}{\delta'} = \frac{0,45 \times 10^{-3}}{0,00005919}$$

$$= 7,615$$

Dari Gambar 3.12, untuk nilai  $k_s/\delta' = 7,615$  diperoleh nilai faktor koreksi pengaruh viskositas  $x = 1$ .

b. Kecepatan aliran rata-rata ( $V$ ) dapat dihitung dengan persamaan logaritmik:

$$V = 5,75u_0' \log\left(\frac{12,27R_b'x}{k_s}\right) \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.10}$$

dengan:

$V$  = kecepatan aliran rata-rata.

$R_b'$  = jari-jari hidrolik.

$x$  = faktor koreksi pengaruh *viskositas*.

$k_s$  =  $d_{65}$  (kekasaran butiran).

$$V = 5,75 \times 0,1172 \log \left( \frac{12,27 \times 0,1957 \times 1}{0,45 \times 10^{-3}} \right)$$

$$= 4,1992 \text{ m/detik}$$

c. Intensitas aliran  $\Psi'$ :

Dimana dari data distribusi ukuran butiran  $d_{35} = 0,18 \times 10^{-3}$

$$\Psi' = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{d_{35}}{SR_b'} \dots \dots \dots \text{Persamaan 3.11}$$

dengan:

$\Psi'$  = intensitas aliran.

$\gamma_s$  = berat spesifik air.

$\gamma$  = berat spesifik sedimen.

$d_{35}$  = parameter angkutan.

$R_b$  = jari-jari hidrolik.

$S$  = *slope*/kemiringan dasar saluran.

$$\Psi' = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{d_{35}}{SR_b'} = 1,65 \frac{0,18 \times 10^{-3}}{0,02 \times 0,1957}$$

$$= 0,07588$$

Dari gambar grafik 3.13 Einstein dan Barbossa untuk  $\Psi' = 0,07588$  diperoleh

nilai  $V/u_0'' = 100$

$$\frac{V}{u_0''} = 100 \rightarrow u_0'' = \frac{4,1992}{100} = 0,041992 \text{ m/detik}$$

Dimana  $u_0''$  adalah kecepatan gesek akibat pengaruh konfigurasi dasar (*Shape roughness*). Jari-jari hidraulik akibat konfigurasi dasar diperoleh dengan cara sebagai berikut:

$$u_0'' \sqrt{g R_b'' S} \rightarrow R_b'' = \frac{(u_0'')^2}{g S} = \frac{0,041992^2}{9,81 \times 0,02} = 0,0089887 \text{ m}$$

dengan:

$S$  = kemiringan dasar.

$g$  = gravitasi.

$R_b''$  = jari-jari hidrolik untuk penyimpangan saluran.

$u_0''$  = kecepatan gesek akibat konfigurasi dasar.

d. Jari-jari total diperoleh cara sebagai berikut:

$$R_b = R_b' + R_b'' \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.13 a}$$

dengan:

$R_b$  = jari-jari hidrolik total.

$R_b'$  = jari-jari hidrolik rencana/coba-coba.

$R_b''$  = jari-jari hidrolik akibat pengaruh konfigurasi dasar.

$$R_b = 0,1957 + 0,0089887 \\ = 0,20468 \text{ m}$$

Tinggi saluran dihitung dengan persamaan berikut ini

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

dengan:

$R_b$  = jari-jari hidraulik total

$A$  = lebar saluran/sungai (dalam h)

$P$  = keliling basah saluran

$h$  = tinggi saluran

sehingga,  $0,20468 = \frac{178,4 h}{197,7}$ , dengan perhitungan sedemikian rupa diperoleh

nilai  $h = 0,0828 \text{ m}$

e. Kontrol hitungan debit:

$$Q = A \cdot V = (b \times h \times V) \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.14}$$

dengan:

$Q$  = debit aliran.

$A$  = luas penampang.

$V$  = kecepatan rata-rata.

$b$  = lebar saluran.

$$Q = 106,5 \times 0,205479 \times 4,1992 \\ = 91,899 \text{ m}^3/\text{detik} \approx 91,88735 \text{ m}^3/\text{detik}$$

- f. Dengan berdasarkan nilai  $R_b'$  yang benar selanjutnya dapat dilakukan perhitungan angkutan sedimen menurut Einstein (1950), sebagai berikut:

Intensitas aliran:

$$\Psi' = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{d_1}{SR_b'} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.15}$$

dengan:

$\Psi'$  = intensitas aliran.

$\gamma_s$  = berat spesifik air.

$\gamma$  = berat spesifik sedimen.

$d_{35}$  = parameter angkutan.

$R_b$  = jari-jari hidrolik.

$S$  = *slope*/kemiringan dasar saluran.

Intensitas aliran:

$$\Psi' d = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} = 1,65 \frac{d}{S.R_b} = 1,65 \frac{d}{0,002.0,1957} = 421,5636d$$

- g. Kecepatan gesek akibat kekasaran butiran:

$$U_0' = \sqrt{gR_b' S} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.8}$$

dengan:

$U_0'$  = kecepatan gesek akibat kekasaran butiran.

$g$  = percepatan gravitasi.

$S$  = *slope*/ kemiringan dasar saluran.

$$u_0' = \sqrt{9,8 \times 0,1957 \times 0,02} \\ = 0,19595 \text{ m/detik}$$

Tebal lapisan *sub viscous*

$$\delta' = \frac{11,6v}{u_o} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.9}$$

dengan:

$\delta'$  = tebal lapisan *sub viscous*.

$\mu$  = viskositas/kekentalan air.

$U_o'$  = kecepatan gesek akibat kekasaran butiran.

$$\begin{aligned} \delta' &= \frac{11,6 \times 1,00 \times 10^{-3}}{0,19595} \\ &= 0,000059198 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\frac{k_s}{\delta'} = \frac{d_{65}}{\delta'} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.9a}$$

dengan:

$k_s$  = kekasaran butiran.

$\delta$  = tebal lapisan *sub viscous*.

$$\begin{aligned} \frac{k_s}{\delta'} &= \frac{0,45 \times 10^{-3}}{0,000059198} \\ &= 7,601 \end{aligned}$$

Dari Gambar 3.12, diperoleh nilai  $x$  (faktor koreksi pengaruh *viskositas*) = 1.

$$\Delta = \frac{d_{65}}{x} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.9c}$$

$$\begin{aligned} \Delta &= \frac{0,45 \times 10^{-3}}{1} \\ &= 0,00045 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\frac{\Delta}{\delta'} = \frac{0,00045}{0,000059198}$$

$$\begin{aligned} &= 7,6015 > 1,8 \quad \rightarrow X = 0,77 \times \Delta \\ &= 0,77 \times 0,00045 = 0,000347 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\left[ \frac{\beta}{\beta x} \right]^2 = \left[ \frac{\log(10,6)}{\log(10,6 \cdot X/\Delta)} \right]^2 \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.17}$$

$$= \left[ \frac{\log(10,6)}{\log(10,6 \cdot 0,000347/0,00045)} \right]^2 = 1,2644$$

Untuk fraksi butiran  $d_1 = 11,517 \text{ mm} = 0,01152 \text{ m}$

$$\frac{d_1}{x} = \frac{0,00152}{0,000347} = 33,24675$$

Untuk  $\frac{d_1}{X} = 33,24675$  dari Gambar 3.14, diperoleh nilai *hiding factor*  $\xi = 1$

$$\frac{k_s}{\delta'} = \frac{d_{65}}{\delta'} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.9b}$$

dengan:

$k_s$  = kekasaran butiran.

$\Delta$  = tebal lapisan *sub viscous*.

$$\frac{k_s}{\delta'} = \frac{d_{65}}{\delta'} = \frac{0,45 \times 10^{-3}}{0,000059198}$$

= 7,6015 > 5 dari grafik 3.15 diperoleh nilai koreksi gaya angkat (Y) = 0,5.

- h. Intensitas aliran yang telah dikoreksi dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\psi_{oi}' = \xi_1 Y_1 \left( \frac{\beta}{\beta_x} \right)^2 \Psi d \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.18}$$

dengan :

$\Psi_{oi}'$  = intensitas aliran yang telah dikorekasi.

$\xi_1$  = faktor koreksi *hiding factor* (fungsi dari  $d/x$ ).

$Y_1$  = faktor koreksi terhadap koefesien gaya angkat.

$$\psi_{oi}' = \xi_1 Y_1 \left( \frac{\beta}{\beta_x} \right)^2 \Psi d$$

$$\begin{aligned} \psi_{oi}' &= 1 \times 0,5 \times 1,2644 \times 421,5636 \times 0,01152 \\ &= 3,0704 \end{aligned}$$

- i. Dari grafik Einstein (3.16) untuk nilai  $\Psi_{oi}' = 3,0704$ , nilai  $\theta$  diperoleh 1,2. Selanjutnya besar angkutan sedimen dasar untuk fraksi butiran berukuran  $d_1$  adalah:

$$(i_b q_b)_1 = i_b \theta_1 \rho_s (g d_1)^{3/2} \left( \frac{\rho - \rho_s}{\rho} \right)^{1/2} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.19}$$

dengan:

$q_b$  = besar angkutan sedimen dasar

$i_{bl}$  = fraksi angkutan dasar berukuran  $d_l$

$g$  = percepatan gravitasi

$d_l$  = ukuran rata-rata  $d_l$

$$\begin{aligned}(i_b q_b)_1 &= i_b \theta_1 \rho_s (g d_1)^{3/2} \left( \frac{\rho - \rho_s}{\rho} \right)^{1/2} \\ &= 0,0508 \times 1,2 \times (2650 / (1000 * 9,81)) \times (9,81 \times 0,01152)^{3/2} (1,65)^{1/2} \\ &= 0,000803611 \text{ Kg/m.detik.}\end{aligned}$$

Untuk fraksi ukuran butiran,  $d_2 = 1,138 \text{ mm} = 0,00114 \text{ m}$

$$\frac{d_2}{X} = \frac{0,00114}{0,000347} = 3,29$$

Untuk  $\frac{d_2}{X} = 3,29$  dari Gambar 3.14, diperoleh nilai *hiding factor*  $\xi = 1$

Untuk  $\frac{d_{65}}{\delta_r} = 7,601$  dari Gambar 3.15, diperoleh nilai koreksi gaya angkat  $Y = 0,5$

Intensitas aliran yang telah dikoreksi

$$\begin{aligned}\psi_o i' &= \xi_2 Y_2 \left( \frac{\beta}{\beta_x} \right)^2 \Psi d \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.18} \\ &= 1 \times 0,5 \times 1,2644 \times 421,5636 \times 0,0114 \\ &= 0,303843\end{aligned}$$

Untuk  $\Psi_{i'}$  = 0,992 dari Gambar 3.16, diperoleh nilai  $\theta = 0$ . Selanjutnya besar angkutan sedimen untuk fraksi butiran  $d_2$ .

$$\begin{aligned}(i_b q_b)_2 &= i_b \theta_2 \rho_s (g d_1)^{3/2} \left( \frac{\rho - \rho_s}{\rho} \right)^{1/2} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.19} \\ &= 0,28218 \times 0 \times 2650 * (1000 / 9,81) \times (9,81 * 0,00114)^{3/2} \times (1,65)^{1/2} \\ &= 0 \text{ Kg/m.detik.}\end{aligned}$$

Untuk fraksi ukuran butiran,  $d_3 = 0,1755 \text{ mm} = 0,00018 \text{ m}$

$$\frac{d_3}{X} = \frac{0,00018}{0,000347} = 0,519481$$

Untuk  $\frac{d3}{X} = 0,519481$  dari Gambar 3.14, diperoleh nilai *hiding factor*  $\xi = 3$

Untuk  $\frac{d65}{\delta r} = 7,6015$  dari Gambar 3,15, diperoleh nilai koreksi gaya angkat  $Y = 0,5$

Intensitas aliran yang telah dikoreksi

$$\begin{aligned}\psi_{\circ} i' &= \xi_3 Y_3 \left( \frac{\beta}{\beta_x} \right)^2 \Psi d \\ &= 3 \times 0,5 \times 1,2644 \times 421,5636 \times 0,00018 \\ &= 0,143925\end{aligned}$$

Untuk  $\Psi_{i'} = 0,143925$  dari Gambar 3.16, diperoleh nilai  $\theta = 0$

Selanjutnya besar angkutan sedimen untuk fraksi butiran  $d_3$ .

$$\begin{aligned}(i_b q_b)_3 &= i_b \theta_3 \rho_s (g d_1)^{3/2} \left( \frac{\rho - \rho_s}{\rho} \right)^{1/2} \\ &= 0,66702 \times 0 \times (2650 / (1000 * 9,81)) \times (9,81 * 0,00018)^{3/2} \times (1,65)^{1/2} \\ &= 0 \text{ Kg/m.detik.}\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}(i_b q_b)_{\text{total}} &= (i_b q_b)_1 + (i_b q_b)_2 + (i_b q_b)_3 \\ &= 0,000803611 + 0 + 0 \\ &= 0,000803611 \text{ Kg/m.detik.}\end{aligned}$$

Jadi besar angkutan sedimen adalah:

$$\begin{aligned}q_B &= (\Sigma i_b q_b) \times 60 \text{detik} \times 60 \text{menit} \times 24 \text{jam} \times B \\ &= 0,000803611 \times 60 \times 60 \times 24 \times 106,5 \\ &= 7394,509597 \text{ Kg/hari} = 7,39451 \text{ ton/hari}\end{aligned}$$



Tabel 5.9. Hasil Perhitungan Analisis Angkutan Sedimen Sungai Progo, Segmen Jembatan Kebon Agung 1

Analisis Angkutan Sedimen Segmen Jembatan Kebon Agung 1										
No	d (mm)	ib (%)	Rb'	$\psi 1'$	d/x	$\xi i$	Y	$\psi.i'$	$\Theta i$	$(ibqb)i$ (Kg/m.detik)
1	0,01152	0,0508	0,1957	4,8564	33,246	1	0,5	3,0704	1,2	0,000803611
2	0,00114	0,2821	0,1957	0,4805	3,29	1	0,5	0,303	0	0
3	0,00018	0,6670	0,1957	0,0758	0,519	3	0,5	0,1439	0	0
									$\Sigma$	0,000803611
									qb =	7394,5095

Sumber: Hasil Analisis Penelitian (2017)

Hasil analisis perhitungan untuk nilai angkutan sedimen pada titik 1 dan titik 2 selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran .Didapatkan hasil perhitungan angkutan sebagai berikut yang dibandingkan dengan hasil analisis milik Galih Wicaksono (2012).

Tabel 5.10 Perbandingan Angkutan Sedimen

Lokasi	Angkutan Sedimen 2017	Kecepatan 2017	Angkutan Sedimen 2012	Kecepatan 2012
Titik 1	2,1965 ton/hari	0,7425 m/detik	4,69 ton/hari	1,3 m/ detik
Titik 2	2,7794 ton/hari	1,1 m/detik	29,56 ton/hari	0,6 m/detik
Titik 3	7,3945 ton/hari	0,598m/detik	22,24 ton/hari	0,98 m/detik

Sumber: Galih (2012) dan Hasil Analisis Penelitian (2017)

Terdapat perbedaan angkutan sedimen antara tahun 2017 dengan tahun 2010 hal ini disebabkan karena erupsi Merapi tahun 2010 sudah lama terjadi sehingga sedimen yang keluar pun juga sudah berangsur angsur terangkut.

### C. Agrasi dan Degradasi

Berikut adalah perhitungan angkutan sedimen segmen pertemuan Progo – Pabelan dan Pertemuan Progo – Putih.menggunakan Metode

Engelund dan Handsen (1967,dalam Wilcock 2002) Penambangan pasir pada titik yang di tinjau diabaikan, sehingga langkah-langkah perhitungan yang dilakukan ialah sebagai berikut:

1. Perhitungan debit sedimen perbulan ( $Q_s$ )

Diketahui data hidrometri di titik I dan II di sajikan pada tabel 5.11 berikut ini.

Tabel 5.11 Data perhitungan hidrometri titik I dan II

Data Perhitungan Hidrometri	Titik I Progo-Pabelan	Titik II Progo-Putih
Luas (A), m <sup>2</sup>	95,23	55,009
Keliling penampang basah (P), m	91,731	80,002
Luas penampang basah dalam “d”	122,16	73
<i>Sloope</i>	0,00681	0,0168
Kecepatan aliran rata- rata (V), m/detik	0,7425	1,145
Debit, (Q), m <sup>3</sup> /detik	70,708	62,985
Lebar aliran (B), m	91,44	80
D <sub>50</sub> , mm	0,0008	0,56
Gravitasi, (g), m/s <sup>2</sup>	9,81	9,81
Berat jenis sedimen ( $\gamma_s$ ), kg/m <sup>3</sup>	2650	2650
Berat jenis air ( $\gamma$ ), kg/m <sup>3</sup>	1000	1000

Sumber: data hasil penelitian 2017

Contoh perhitungan untuk gradasi/agradasi digunakan data di titik I sampai titik II

**Titik I**

a. Mencari nilai Jari-jari hidraulik (R)

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

$$= \frac{95,23}{91,731}$$

= 1,0381 m , maka nilai kekasaran saluran ialah

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

$$0,7425 = \frac{1}{n} \times 1,0381^{2/3} \times 0,00681^{1/2}$$

$$n = 0,11395$$

b. Mencari kedalaman (d) perbulan

$$Q = V \times A$$

$$= \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \times A$$

$$= \frac{1}{0,11395} \times \left( \frac{122,16d}{91,731} \right)^{2/3} \times 0,00681^{1/2} \times 122,16d$$

$$70,708 = 107,00851 d^2$$

$$D^2 = 0,660297, D = 0,8125 \text{ m} \Rightarrow 81,25 \text{ cm}$$

c. Mencari kecepatan

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

$$= \frac{1}{0,11395} \times \frac{122,16d}{91,731} \times 0,00681^{1/2}$$

$$= \frac{1}{0,11395} \times \left( \frac{122,16 \times 0,8125}{91,731} \right)^{2/3} \times 0,00681^{1/2}$$

$$= 0,7633 \text{ m/s}$$

d. Mencari  $q_s$

Tegangan geser

$$\tau_0 = \gamma \times D \times S$$

Dimana :

$\gamma$  = berat air per m<sup>3</sup>

$d$  = kedalaman

$S$  = kemiringan saluran

$$\tau_0 = 1000 \times 0,8125 \times 0,00681$$

$$= 5,5337 \text{ kg/m}^2$$

Sehingga  $q_s$  perbulan didapat dengan persamaan berikut

$$\begin{aligned} q_s &= 0,05 \times \gamma_s \times V^2 \times \left( \frac{d50}{g \times \left( \frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)} \right)^{1/2} \times \left( \frac{\tau_0}{g \times \left( \frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)} \right)^{3/2} \\ &= 0,05 \times 2560 \times 0,7633^2 \times \left( \frac{0,0008}{9,81 \times \left( \frac{2650}{1000} - 1 \right)} \right)^{1/2} \times \\ &\quad \left( \frac{5,5337}{9,81 \times \left( \frac{2650}{1000} - 1 \right)} \right)^{3/2} \\ &= 0,045493 \text{ kg/detik.meter} \end{aligned}$$

## Titik II

a. Mencari nilai Jari-jari hidraulik (R)

$$\begin{aligned} R &= \frac{A}{P} \\ &= \frac{53,8875}{80,002} \\ &= 0,6735769 \text{ m , maka nilai kekasaran saluran ialah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \\ 1,145 &= \frac{1}{n} \times 0,6735769^{2/3} \times 0,0165^{1/2} \\ n &= 0,086204105 \end{aligned}$$

b. Mencari kedalaman (d) perbulan

$$\begin{aligned} Q &= V \times A \\ &= \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \times A \\ &= \frac{1}{0,086204105} \times \left( \frac{73d}{80,002} \right)^{2/3} \times 0,0165^{1/2} \times 73d \\ 59,2625 &= 102,3335946d^2 \\ D^2 &= 0,579110899, D = 0,760993363 \text{ m} \Rightarrow 76,099 \text{ cm} \end{aligned}$$

c. Mencari kecepatan

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \\ &= \frac{1}{0,086204105} \times \frac{73d}{80,002}^{2/3} \times 0,0165^{1/2} \\ &= \frac{1}{0,086204105} \times \left( \frac{73 \times 0,76099}{80,002} \right)^{2/3} \times 0,0165^{1/2} \\ &= 1,168465648 \text{ m/s} \end{aligned}$$

d. Mencari  $q_s$

Tegangan geser

$$\tau_0 = \gamma \times D \times S$$

Dimana :

$\gamma$  = berat air per m<sup>3</sup>

$d$  = kedalaman

$S$  = kemiringan saluran

$$\begin{aligned}\tau_0 &= 1000 \times 0,760993363 \times 0,0165 \\ &= 12,5563905 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

Sehingga  $q_s$  perbulan didapat dengan persamaan berikut

$$\begin{aligned}q_s &= 0,05 \times \gamma_s \times V^2 \times \left( \frac{d_{50}}{g \times \left( \frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)} \right)^{1/2} \times \left( \frac{\tau_0}{g \times \left( \frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)} \right)^{3/2} \\ &= 0,05 \times 2560 \times 1,168465648^2 \times \left( \frac{0,00056}{9,81 \times \left( \frac{2650}{1000} - 1 \right)} \right)^{1/2} \times \left( \frac{12,5563905}{9,81 \times \left( \frac{2650}{1000} - 1 \right)} \right)^{3/2} \\ &= 0,304846072 \text{ kg/detik.meter}\end{aligned}$$

e. Mencari debit sedimen Pertahun di titik I dan II

$$\begin{aligned}Q_s \text{ titik I} &= \text{lebar Aliran} \times q_s \\ &= 91,44 \times 0,045493 \\ &= 4,1599 \text{ Kg/detik} \\ &= 4,1599 \text{ Kg/detik} \times 60 \text{ detik} \times 60 \text{ menit} \times 24 \text{ jam} \\ &= 359421,5099 \text{ kg/hari} \times 365 \text{ hari} \\ &= 131188851,1 \text{ kg/tahun} \\ &= 131188851,1 \text{ kg/tahun} \times \frac{1}{2650} \text{ kg/m}^3 \\ &= 49505,22684 \text{ m}^3/\text{tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_s \text{ titik II} &= \text{lebar Aliran} \times q_s \\ &= 80 \times 0,30484 \\ &= 24,387 \text{ Kg/detik} \\ &= 24,387 \text{ Kg/detik} \times 60 \text{ detik} \times 60 \text{ menit} \times 24 \text{ jam} \\ &= 2107096,052 \text{ kg/hari} \times 365 \text{ hari} \\ &= 769090059 \text{ kg/tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 769090059 \text{ kg/tahun} \times \frac{1}{2650} \text{ kg/m}^3 \\
 &= 290222,6638 \text{ m}^3/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Debit sedimen } (\Delta Q) &= Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}} = Q_s \text{ titik I} - Q_s \text{ titik II} \\
 &= 49505,22684 - 290222,6638 \\
 &= - 240717,4369 \text{ m}^3/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

f. Mencari luas permukaan aliran dari titik I ke titik II

$$\text{Lebar aliran titik I (B1)} = 91,44 \text{ m}$$

$$\text{Lebar aliran titik II (B2)} = 80 \text{ m}$$

$$\text{Jarak Antara titik I – II} = 7919 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas permukaan } (A_{\text{permukaan}}) &= \left( \frac{B1+B2}{2} \right) \times \text{jarak} \\
 &= \left( \frac{91,44 + 80}{2} \right) \times 7919 \\
 &= 678816,68 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

2. Analisis perhitungan pada titik tinjauan

Degradasi/agradasi titik I sampai titik II ,

$$\text{Volume Sedimen} = \Delta Q = - 240717,4369 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{\Delta Q}{A_{\text{permukaan aliran}}} \\
 &= \frac{-240717,4369}{678816,68}
 \end{aligned}$$

$$= - 0,3546133 \text{ m/tahun}$$

Berikut adalah perhitungan angkutan sedimen segmen pertemuan Pertemuan Progo – Putih dan Jembatan Kebon Agung. Penambangan pasir pada titik yang di tinjau diabaikan, sehingga langkah-langkah perhitungan yang dilakukan ialah sebagai berikut:

3. Perhitungan debit sedimen perbulan ( $Q_s$ )

Diketahui data hidrometri di titik II dan III di sajikan pada tabel 5.12 berikut ini.

Tabel 5.12 data perhitungan hidrometri titik II dan III

Data Perhitungan Hidrometri	Titik II Progo-Putih	Titik III Progo-Putih
Luas (A), m <sup>2</sup>	55,009	153.575
Keliling penampang basah (P), m	80,002	197.7
Luas penampang basah dalam “d”	73	178.4
<i>Sloope</i>	0,0168	0.0165
Kecepatan aliran rata- rata (V), m/detik	1,145	0.598
Debit, (Q), m <sup>3</sup> /detik	62,985	91.88735
Lebar aliran (B), m	80	106.5
D <sub>50</sub> , mm	0,56	0,24
Gravitasi, (g), m/s <sup>2</sup>	9,81	9,81
Berat jenis sedimen ( $\gamma_s$ ), kg/m <sup>3</sup>	2650	2650
Berat jenis air ( $\gamma$ ), kg/m <sup>3</sup>	1000	1000

Sumber: data hasil penelitian 2017

Contoh perhitungan untuk gradasi/agradasi digunakan data di titik II sampai titik III

### Titik II

- a. Mencari nilai Jari-jari hidraulik (R)

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

$$\begin{aligned}
 &= \frac{53,8875}{80,002} \\
 &= 0,6735769 \text{ m , maka nilai kekasaran saluran ialah} \\
 V &= \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \\
 1,145 &= \frac{1}{n} \times 0,673576911^{2/3} \times 0,0165^{1/2} \\
 n &= 0,086204105
 \end{aligned}$$

b. Mencari kedalaman (d) perbulan

$$\begin{aligned}
 Q &= V \times A \\
 &= \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \times A \\
 &= \frac{1}{0,086204105} \times \left( \frac{73d}{80,002} \right)^{2/3} \times 0,0165^{1/2} \times 73d \\
 59,2625 &= 102,3335946d^2 \\
 D^2 &= 0,579110899, D = 0,760993363 \text{ m} \Rightarrow 76,099 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

c. Mencari kecepatan

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \\
 &= \frac{1}{0,086204105} \times \frac{73d}{80,002}^{2/3} \times 0,0165^{1/2} \\
 &= \frac{1}{0,086204105} \times \left( \frac{73 \times 0,76099}{80,002} \right)^{2/3} \times 0,0165^{1/2} \\
 &= 1,168465648 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

d. Mencari  $q_s$

Tegangan geser

$$\tau_0 = \gamma \times D \times S$$

Dimana :

$\gamma$  = berat air per m<sup>3</sup>

d = kedalaman

S = kemiringan saluran

$$\begin{aligned}
 \tau_0 &= 1000 \times 0,760993363 \times 0,0165 \\
 &= 12,5563905 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga  $q_s$  perbulan didapat dengan persamaan berikut



$$\begin{aligned}
 qs &= 0,05 \times \gamma_s \times V^2 \times \left( \frac{d50}{g \times \left( \frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)} \right)^{1/2} \times \left( \frac{\tau_0}{g \times \left( \frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)} \right)^{3/2} \\
 &= 0,05 \times 2560 \times 1.168465648^2 \times \left( \frac{0.00056}{9,81 \times \left( \frac{2650}{1000} - 1 \right)} \right)^{1/2} \times \\
 &\quad \left( \frac{12,5563905}{9,81 \times \left( \frac{2650}{1000} - 1 \right)} \right)^{3/2} \\
 &= 0.304846072 \text{ kg/detik.meter}
 \end{aligned}$$

### Titik III

Mencari nilai Jari-jari hidraulik (R)

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{A}{P} \\
 &= \frac{153,75}{197,7} \\
 &= 0.77680 \text{ m , maka nilai kekasaran saluran ialah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \\
 0.598 &= \frac{1}{n} \times 0.77680^{2/3} \times 0.0165^{1/2} \\
 n &= 0.181516743
 \end{aligned}$$

e. Mencari kedalaman (d) perbulan

$$\begin{aligned}
 Q &= V \times A \\
 &= \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \times A \\
 &= \frac{1}{0,181516743} \times \left( \frac{178,4d}{9197,7} \right)^{2/3} \times 0.0165^{1/2} \times 178,4d \\
 91,88735 &= 117.8905294d^2 \\
 D^2 &= 0.779429446, D = 0.882853015\text{m} \Rightarrow 88,285 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

f. Mencari kecepatan

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \\
 &= \frac{1}{0.181516743} \times \left( \frac{178,4d}{9197,7} \right)^{2/3} \times 0.0165^{1/2} \\
 &= \frac{1}{0.181516743} \times \left( \frac{178,4 \times 0,8828}{9197,7} \right)^{2/3} \times 0.0165^{1/2} \\
 &= 0.608148543 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

g. Mencari  $qs$

Tegangan geser

$$\tau_0 = \gamma \times D \times S$$

Dimana :

$\gamma$  = berat air per m<sup>3</sup>

$d$  = kedalaman

$S$  = kemiringan saluran

$$\tau_0 = 1000 \times 0.882853015 \times 0,0165$$

$$= 14.56707474 \text{ kg/m}^2$$

Sehingga  $q_s$  perbulan didapat dengan persamaan berikut

$$q_s = 0,05 \times \gamma_s \times V^2 \times \left( \frac{d_{50}}{g \times \left( \frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)} \right)^{1/2} \times \left( \frac{\tau_0}{g \times \left( \frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)} \right)^{3/2}$$

$$= 0,05 \times 2560 \times 0.608148543^2 \times \left( \frac{0.00024}{9,81 \times \left( \frac{2650}{1000} - 1 \right)} \right)^{1/2} \times \left( \frac{14.56707474}{9,81 \times \left( \frac{2650}{1000} - 1 \right)} \right)^{3/2}$$

$$= 0.067552427 \text{ kg/detik.meter}$$

h. Mencari debit sedimen Pertahun di titik II dan III

$Q_s$  titik II = lebar Aliran x  $q_s$

$$= 80 \times 0,30484$$

$$= 24,387 \text{ Kg/detik}$$

$$= 24,387 \text{ Kg/detik} \times 60 \text{detik} \times 60 \text{menit} \times 24 \text{ jam}$$

$$= 2107096,052 \text{ kg/hari} \times 365 \text{ hari}$$

$$= 769090059 \text{ kg/tahun}$$

$$= 769090059 \text{ kg/tahun} \times \frac{1}{2650} \text{ kg/m}^3$$

$$= 290222,6638 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

$Q_s$  titik III = lebar Aliran x  $q_s$

$$= 106.5 \times 0.067552427$$

$$= 7.194333487 \text{ Kg/detik}$$

$$= 7.1943334 \text{ Kg/detik} \times 60 \text{detik} \times 60 \text{menit} \times 24 \text{ jam}$$

$$= 621590.41 \text{ kg/hari} \times 365 \text{ hari}$$

$$= 226880500.8 \text{ kg/tahun}$$

$$\begin{aligned}
 &= 226880500.8 \text{ kg/tahun} \times \frac{1}{2650} \text{ kg/m}^3 \\
 &= 85615.28333 \text{ m}^3/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Debit sedimen } (\Delta Q) &= Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}} = Q_s \text{ titik I} - Q_s \text{ titik II} \\
 &= 290222,6638 - 85615.28333 \\
 &= 204607.3804 \text{ m}^3/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

i. Mencari luas permukaan aliran dari titik II ke titik III

$$\text{Lebar aliran titik II (B1)} = 80 \text{ m}$$

$$\text{Lebar aliran titik III (B2)} = 106.5 \text{ m}$$

$$\text{Jarak Antara titik II - III} = 19089 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas permukaan } (A_{\text{permukaan}}) &= \left( \frac{B_1 + B_2}{2} \right) \times \text{jarak} \\
 &= \left( \frac{80 + 106.5}{2} \right) \times 19089 \\
 &= 1780049.25 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

4. Analisis perhitungan pada titik tinjauan

Degradasi/agradasi titik II sampai titik III ,

$$\text{Volume Sedimen} = \Delta Q = - 240717,4369 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{\Delta Q}{A_{\text{permukaan aliran}}} \\
 &= \frac{204607.3804}{1780049.25} \\
 &= 0.114944786 \text{ m/tahun}
 \end{aligned}$$