

**BAB V**  
**HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

**A.Morfologi Sungai**

Perhitungan ini akan menjelaskan tentang langkah-langkah perhitungan hidrometri dan menentukan tipe morfologi Sungai Pabelan. Contoh perhitungan diambil dari data pada titik 1 di Jembatan Pabelan 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 pada titik 1 di Jembatan Pabelan 1 ditampilkan dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil pengukuran di titik 1 (Jembatan Pabelan 1).

Aliran Kiri		Aliran Tengah		Aliran Kanan	
L= jarak (meter)	t= waktu (detik)	L= jarak (meter)	t= waktu (detik)	L= jarak (meter)	t= waktu (detik)
5	8,59	5	3,72	5	12,23
5	8,54	5	3,95	5	12,39
5	8,49	5	3,49	5	12,16

Sumber: Hasil Analisis Penelitian (2017)

Untuk hasil pengukuran pada titik 2 dan 3 dapat dilihat pada lampiran.

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 titik 1 (Jembatan Pabelan 1):

$$\text{- Aliran kiri} = \left( \frac{5}{8,59} + \frac{5}{8,54} + \frac{5}{8,49} \right)$$

$$V \text{ permukaan kiri} = \left( \frac{0,582 + 0,585 + 0,588}{3} \right)$$

$$= 0,585 \text{ m/detik}$$

$$\text{- Aliran tengah} = \left( \frac{5}{3,72} + \frac{5}{3,95} + \frac{5}{3,49} \right)$$

$$\text{V permukaan tengah} = \left( \frac{1,344 + 1,265 + 1,432}{3} \right)$$

$$= 1,347 \text{ m/detik}$$

$$\text{- Aliran kanan} = \left( \frac{5}{12,23} + \frac{5}{12,39} + \frac{5}{12,16} \right)$$

$$\text{V permukaan kanan} = \left( \frac{0,408 + 0,403 + 0,411}{3} \right)$$

$$= 0,407 \text{ m/detik}$$

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

$$\text{- V rata-rata aliran kiri} = 0,585 \cdot 0,90$$

$$= 0,526 \text{ m/detik}$$

$$\text{V rata-rata aliran tengah} = 1,347 \cdot 0,90$$

$$= 1,212 \text{ m/detik}$$

$$\text{- V rata-rata aliran kanan} = 0,407 \cdot 0,90$$

$$= 0,366 \text{ m/detik}$$

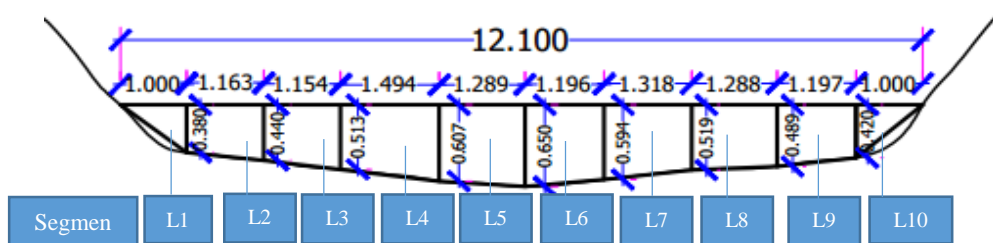
$$\text{V rata-rata} = (0,526 + 1,212 + 0,366) / 3$$

$$= 0,701 \text{ m/detik}$$

Hasil perhitungan kecepatan aliran Sungai Pabelan pada titik 2 dan titik 3 selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran .

b. Luas Penampang Basah Aliran Sungai

Dari pengukuran pada titik 1 (Jembatan Pabelan 1) diperoleh data ukuran penampang melintang sungai yang dibagi menjadi beberapa segmen seperti pada Gambar 5.2.



Gambar 5.1 Sketsa penampang melintang sungai di titik 1 (Jembatan Pabelan 1)

Contoh perhitungan luas penampang aliran segmen Sungai Pabelan di Jembatan Pabelan 1:

- Luas pada segmen 1

Bagian ini di asumsikan berbentuk segitiga, jadi rumus yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned}
 L1 &= 0,5 \times a \times t \\
 &= 0,5 \times 1,000 \text{ m} \times 0,380 \text{ m} \\
 &= 0,19 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

- Luas pada segmen 2

Bagian ini di asumsikan berbentuk trapesium, jadi rumus yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned}
 L2 &= ((d1+d2) \times t) / 2 \\
 &= ((0,380+0,440) \times 1,163) / 2 \\
 &= 0,476 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

- Luas pada segmen 3

Bagian ini di asumsikan berbentuk trapesium, jadi rumus yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned}
 L3 &= ((d1+d2) \times t) / 2 \\
 &= ((0,440+0,513) \times 1,154) / 2 \\
 &= 0,549 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

- Luas pada segmen 4

Bagian ini di asumsikan berbentuk trapesium, jadi rumus yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} L4 &= ((d1+d2) \times t) / 2 \\ &= ((0,513+0,607) \times 1,494) / 2 \\ &= 0,836 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Luas pada segmen 5

Bagian ini di asumsikan berbentuk trapesium, jadi rumus yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} L5 &= ((d1+d2) \times t) / 2 \\ &= ((0,607+0,650) \times 1,289) / 2 \\ &= 0,810 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Luas pada segmen 6

Bagian ini di asumsikan berbentuk trapesium, jadi rumus yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} L6 &= ((d1+d2) \times t) / 2 \\ &= (0,650+0,594) \times 1,196) / 2 \\ &= 0,743 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Luas pada segmen 7

Bagian ini di asumsikan berbentuk trapesium, jadi rumus yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} L7 &= ((d1+d2) \times t) / 2 \\ &= ((0,594 + 0,519 \times 1,318) / 2 \\ &= 0,733 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Luas pada segmen 8

Bagian ini di asumsikan berbentuk trapesium, jadi rumus yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned}
 L8 &= ((d1+d2) \times t) / 2 \\
 &= ((0,519 + 0,489) \times 1,288) / 2 \\
 &= 0,649 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

- Luas pada segmen 9

Bagian ini di asumsikan berbentuk trapesium, jadi rumus yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned}
 L9 &= ((d1+d2) \times t) / 2 \\
 &= ((0,489 + 0,420) \times 1,197) / 2 \\
 &= 0,544 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

- Luas pada segmen 10

Bagian ini diasumsikan berbentuk segitiga, jadi rumus yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned}
 L10 &= 0,5 \times a \times t \\
 &= 0,5 \times 1,000 \times 0,420 \\
 &= 0,21 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Jadi total luas dari penampang aliran di Jembatan Pabelan 1 adalah 5,744 m<sup>2</sup>.

Hasil perhitungan penampang aliran Sungai Pabelan pada titik 2 dan titik 3 selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran .

c. Debit

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

Dengan :

$$Q = \text{Debit aliran (m}^3/\text{detik)}$$

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

$$V = \text{Kecepatan rata-rata (m/detik)}$$

$$Q \text{ Aliran} = A.V$$

$$= 5,744 \times 0,701$$

$$= 4,026 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Hasil perhitungan hidrometri Sungai Pabelan pada titik 2 dan titik 3 selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran . Nilai kecepatan rata-rata luas penampang aliran, dan debit pada setiap titik tinjauan ditampilkan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Nilai kecepatan, luas penampang basah, dan debit Sungai Pabelan

Lokasi	Kecepatan rata-rata aliran (m/detik)	Luas penampang basah aliran (m <sup>2</sup> )	Debit aliran (m <sup>3</sup> /detik)
Jembatan Pabelan 1	0,701	5,744	4,026
Jembatan Srowol	1,103	10,579	11,668
Pabelan – Progo	0,742	136,888	101,639

Sumber: Hasil analisis penelitian 2017

2. Analisis Perhitungan Morfologi
  - a. Menghitung *Entrenchment Ratio*

$$\begin{aligned} \text{Aliran Titik 1, } \textit{Entrenchment Ratio} &= \frac{\text{Lebar aliran banjir}(Wfpa)}{\text{Lebar aliran sungai}(Wbkf)} \dots \text{Persamaan 3.1} \\ &= \frac{29,84}{12,10} \\ &= 2,466 \text{ (Sungai Tipe C, D, dan E)} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan *Entrenchment* Sungai Pabelan pada titik 1, titik 2, dan titik 3 selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran. Nilai *Entrenchment Ratio* untuk masing-masing titik tinjauan dapat dilihat pada tabel 5.3.

Tabel 5.3 Perhitungan morfologi Sungai Pabelan berdasarkan nilai *Entrenchment Ratio*

Lokasi	Lebar aliran banjir (m)	Lebar aliran Sungai (m)	<i>Entrenchment Ratio</i>	
			Nilai	Klasifikasi
Jembatan Pabelan 1	29,84	12,10	2,466	C, D, E
Jembatan Srowol	34,53	22,21	1,554	B
Pabelan – Progo	110,29	91,44	1,206	A, F, G

Sumber: Hasil analisis penelitian 2017

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

$$\begin{aligned} \text{Aliran 1, Width/Depth Ratio} &= \frac{\text{Lebar aliran sungai}(W_{bkf})}{\text{kedalaman aliran}(D_{bkf})} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.2} \\ &= \frac{12,10}{0,65} \\ &= 18,615 \text{ (Sungai Tipe B, C, F)} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan *Width/Depth Ratio* Sungai Pabelan pada titik 1, titik 2, dan titik 3 selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran. Nilai *Width/Depth Ratio* untuk masing-masing titik tinjauan dapat dilihat pada table 5.4.

Tabel 5.4 Perhitungan morfologi Sungai Pabelan berdasarkan nilai *Width/Depth Ratio*

Lokasi	Lebar aliran sungai (m)	Kedalaman aliran (m)	<i>Width/Depth Ratio</i>	
			Nilai	Klasifikasi
Jembatan Pabelan 1	12,10	0,65	18,61	B, C, F
Jembatan Srowol	22,10	0,86	25,82	B, C, F
Pabelan – Progo	91,44	1,5	60,96	D

Sumber: Hasil analisis penelitian 2017

- c. Menghitung kemiringan sungai (*slope*)

Contoh perhitungan kemiringan sungai pada titik1 (Jembatan Pabelan 1).

$$\begin{aligned} \text{Kemiringan aliran} &= \frac{\text{elevasi atas} - \text{elevasi bawah}}{\text{jarak}} \times 100\% \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.3} \\ &= \frac{308 - 234}{2800} \times 100\% \\ &= 2,6 \% \text{ (Tipe sungai D)} \end{aligned}$$

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

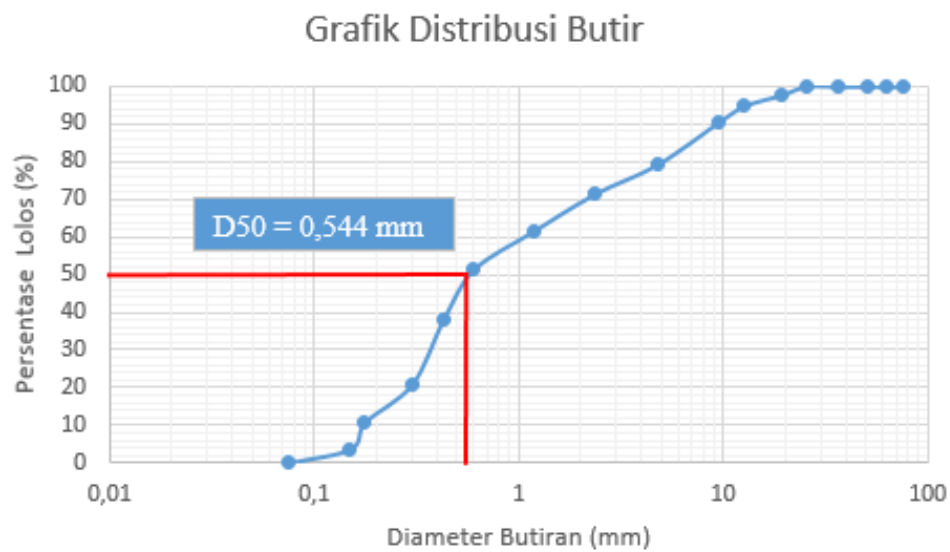
Dari grafik analisis ukuran butiran pada titik 1 (Jembatan Pabelan 1), diketahui nilai D-50 = 0,54 mm, dapat dilihat pada gambar 5.3. Sehingga partikel penyusun material dasar sungai adalah pasir. Hasil analisis saringan sampel sedimen di titik 1 (Jembatan Pabelan 1) dapat dilihat pada tabel 5.5.

Tabel 5.5 Hasil analisis saringan sampel sedimen di titik 1 (Jembatan Pabelan 1)

Lokasi asal sampel		Jembatan Pabelan 1			
Jenis sampel		Sedimen Sungai			
Berat sampel yang di uji		500 gr			
Tanggal pengujian		06-Apr-17			
Lokasi pengujian		Laboratorium Universitas UMY			
Analisis Distribusi Ukuran Butiran					
Diameter (mm)	Berat				
	Tertahan (gr)	Tertahan (%)	Kumulatif (gr)	Kumulatif (%)	Lolos (%)
76,2	-	-	-	-	100
63,5	-	-	-	-	100
50,8	-	-	-	-	100
36,1	-	-	-	-	100
25,4	-	-	-	-	100
19,1	11,56	2,312	11,56	2,312	97,688
12,7	14,15	2,83	25,71	5,142	94,858
9,52	21,31	4,262	47,02	9,404	90,596
4,75	56,7	11,34	103,72	20,744	79,256
2,35	39	7,8	142,72	28,544	71,456
1,18	49,39	9,878	192,11	38,422	61,578
0,6	50,98	10,196	243,09	48,618	51,382
0,425	67,43	13,486	310,52	62,104	37,896
0,3	85,02	17,004	395,54	79,108	20,892
0,177	50,02	10,004	445,56	89,112	10,888
0,15	35,79	7,158	481,35	96,27	3,73
0,075	18,65	3,73	500	100	0
Jumlah	500				

Sumber: Hasil analisis penelitian 2017





Gambar 5.2 Grafik distribusi ukuran butiran pada titik 1 (Jembatan Pabelan 1)

Hasil analisis saringan dan grafik distribusi butiran pada titik 2 dan 3 dapat dilihat pada Lampiran. Untuk klasifikasi tipe morfologi berdasarkan *slope* dan material D50 pada masing-masing titik tinjauan dapat dilihat pada tabel 5.6.

Tabel 5.6 Klasifikasi tipe morfologi berdasarkan *slope* dan material dominan D50

Lokasi	Kemiringan dasar sungai					Material D50	
	Elv. A (m)	Elv. B (m)	Jarak (m)	Nilai (%)	Tipe Sungai	Ukuran (mm)	Tipe butiran
Jembatan Pabelan 1 – Jembatan Srowol	308	234	2800	2,6	D	0,54	Pasir
Jembatan Srowol – Pertemuan Sungai Pabelan dan Progo	234	217	2320	0,7	C, E, F	0,40	Pasir

Sumber: Hasil Analisis Penelitian (2017).

Sehingga berdasarkan klasifikasi morfologi sungai menurut Rosgen (1996) tipe morfologi di titik tinjauan 1 pada tahun 2017 adalah “C<sub>5b</sub>” dan pada tahun 2012 adalah “E<sub>5</sub>”.

Penjelasan (Menurut Metode Rosgen): C<sub>5b</sub> = Sungai tipe C memiliki dataran banjir yang berkembang dengan baik, kemiringan saluran >2% , w/d ratio >12 , *sinuosity*

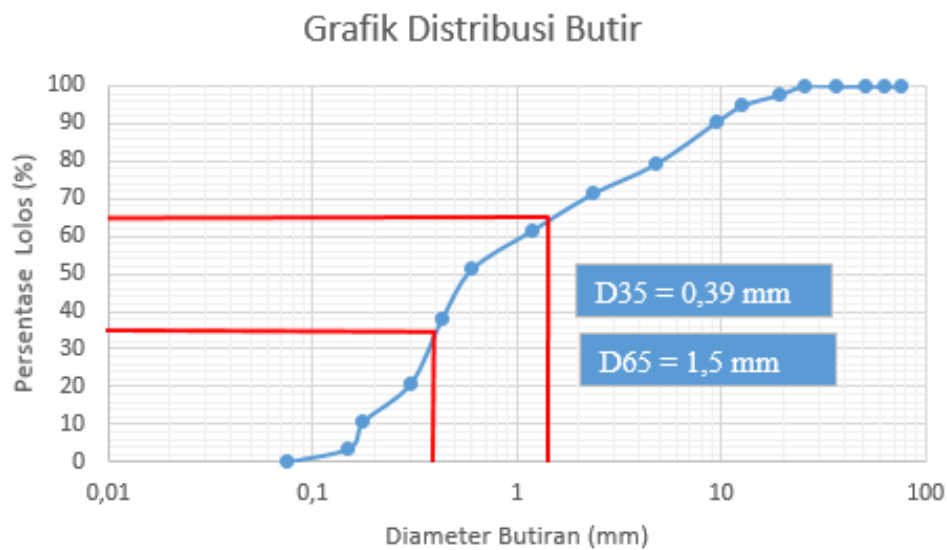
>1,4. Angka 5 menandakan jika material dasar sungai berupa pasir. Huruf b menandakan jika kemiringan dasar saluran.

Terdapat perubahan tipe morfologi antara tahun 2017 dan 2012, hal ini dapat disebabkan oleh aliran air sungai yang bisa mempengaruhi bentuk penampang sungai. Jadi morfologi sungai dapat berubah selama air sungai mengalir.

### B. Angkutan Sedimen

Contoh Perhitungan angkutan sedimen pada titik 1, Sungai Pabelan (Jembatan Pabelan 1). Diketahui:

- a. Debit aliran ( $Q$ ), = 4,026 m<sup>3</sup>/detik.
- b. Lebar aliran sungai, = 12,10 m.
- c. Kemiringan dasar ( $S$ ) = 2,6 %.
- d. Viskositas air ( $\mu$ ) = 1,0 x 10<sup>-6</sup>.
- e. Rapat massa rata-rata sedimen dasar sungai,  $\rho_s$  = 2650 kg/m<sup>3</sup>.
- f. Dengan  $d_{35} = 0,39$  mm dan  $d_{65} = 1,5$  mm dari grafik distribusi ukuran butiran.



Gambar 5.3 Grafik distribusi ukuran butir pada titik 1 (Jembatan Pabelan 1)

g. Gradasi ukuran butir hasil analisis saringan

Tabel 5.7 Analisis Saringan pada titik 1 (Jembatan Pabelan 1)

Interval ukuran butir (mm)	Ukuran butir rata-rata (mm)	% Material

Tabel 5.7  
(Lanjutan)

19,1 - 4,75	11,517	3,577
2,35 - 0,425	1,138	7,988
0,3 - 0,075	0,1755	13,434

Sumber : Hasil Analisis Penelitian (2017)

Untuk gradasi butiran hasil analisis saringan pada titik 2 dan 3 dapat dilihat pada Lampiran.

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

Contoh angkutan sedimen dasar di titik 1 (Jembatan Pabelan 1):

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, didapatkan  $R_b' = 0,132$  m

a. Kecepatan gesek akibat kekasaran butiran:

$$U' = \sqrt{g \cdot R_b' \cdot S} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.8}$$

Dengan:

$U'$  =Kecepatan geser akibat kekasaran butiran.

$g$  =Percepatan gravitasi.

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

$$U' = \sqrt{9,81 \times 0,132 \times 0,026}$$

$$= 0,183 \text{ m/detik}$$

Tebal lapisan *sub-viscous*:

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

Dengan:

$\delta'$  =Tebal lapisan *sub-viscous*.

$\mu$  =Viskositas/kekentalan air.

$U'$  =Kecepatan gesek akibat kekasaran butiran.

$$\delta' = \frac{11,6 \times 1,00 \times 10^{-3}}{0,183}$$

$$= 0,000063 \text{ m}$$

Diketahui  $k_s = D_{65} = 1,5 \times 10^{-3}$

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

Dengan:

$k_s$  = Kekasaran butiran.

$\delta'$  =Tebal lapisan sub-viscous.

$$\begin{aligned} \frac{k_s}{\delta'} &= \frac{1,5 \times 10^{-3}}{0,000063} \\ &= 23,726 \end{aligned}$$

Berdasarkan gambar 3.18, untuk nilai  $\frac{k_s}{\delta'} = 23,726$  didapat nilai faktor koreksi pengaruh viskositas  $x = 1$ .

- b. Kecepatan aliran rata-rata dihitung dengan persamaan 3.14 berikut ini.

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

Dengan:

$V$  =Kecepatan aliran rata-rata.

$R_b'$  =Jari-jari hidraulik.

$X$  =Faktor koreksi pengaruh *viskositas*.

$k_s$  =d65 (kekasaran butiran)

$$\begin{aligned} V &= 5,75 \times 0,183 \log \left( \frac{12,27 \times 0,132 \times 1}{1,5 \times 10^{-3}} \right) \\ &= 3,200 \text{ m/detik.} \end{aligned}$$

- c. Intensitas aliran  $\Psi$ :

Dimana dari data distribusi butiran  $d_{35} = 0,39 \times 10^{-3}$

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

Dengan:

$\Psi$  =Intensitas aliran.

$\gamma_s$  =Berat spesifik sedimen.

$\gamma$  =Berat spesifik air.

$d_{35}$  =Parameter angkutan.

$R_b'$  =Jari-jari hidraulik.

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

$$\Psi = \frac{2650 - 1000}{1000} \cdot \frac{0,39 \times 10^{-3}}{0,026 \times 0,132}$$

$$= 0,187$$

Dari gambar grafik 3.19 Einstein dan Barbrossa (1952) untuk  $\Psi = 0,187$ , didapat nilai  $\frac{V}{u''} = 100$ .

$$\text{Maka } U'' = \frac{3,200}{100} = 0,032 \text{ m/detik.}$$

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

$$R_b'' = \frac{(U'')^2}{g \times S}$$

$$= \frac{0,032^2}{9,81 \times 0,026}$$

$$= 0,004$$

- d. Jari-jari total diperoleh dengan persamaan berikut.

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

Dengan:

$R_b$  =Jari-jari hidraulik total.

$R_b'$  =Jari-jari hidraulik asumsi awal.

$R_b''$  =Jari-jari hidraulik akibat pengaruh konfigurasi dasar.

$$R_b = 0,132 + 0,004$$

$$= 0,136 \text{ m}$$

Tinggi saluran dihitung dengan persamaan berikut:

$$R_b = \frac{A}{P} \dots \dots \dots \text{Persamaan 3.13 b}$$

Dengan:

$R_b$  =Jari-jari hidraulik total.

A =Lebar saluran sungai (dalam h).

P =Keliling basah saluran.

h =Tinggi saluran.

$$\text{Sehingga, } 0,136 = \frac{16,148 h}{12,263}, \text{ dengan perhitungan sedemikian rupa diperoleh}$$

nilai  $h = 0,103 \text{ m}$ .

- e. Kontrol hitungan debit digunakan persamaan seperti berikut.

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

Dengan:

$Q$  = Debit aliran.

$A$  = Luas penampang.

$U$  = Kecepatan aliran akibat konfigurasi dasar.

$b$  = Lebar aliran.

$h$  = Tinggi saluran

$Q = 12,1 \times 0,103 \times 3,200$

$= 3,999 \rightarrow 4,026$

- f. Dengan berdasarkan nilai  $R_b'$  yang benar selanjutnya dapat dilakukan rumus angkutan sedimen menurut Einstein (1952), sebagai berikut:

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

Dengan:

$\Psi$  = Intensitas aliran.

$\gamma_s$  = Berat spesifik sedimen.

$\gamma$  = Berat spesifik air.

$d_{35}$  = Parameter angkutan.

$R_b'$  = Jari-jari hidraulik.

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

Intensitas aliran:

$$\Psi' d = \frac{2650 - 1000}{1000} \cdot \frac{d_1}{0,019 \times 0,08} = 1,65 \times \frac{0,011}{0,026 \times 0,132} = 5,537$$

Berdasarkan gambar 3. , untuk nilai  $\frac{k_s}{\delta} = 23,726$  didapat nilai faktor koreksi

pengaruh viskositas  $x = 1$ .

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

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

$$= 0,001 \text{ m}$$

$$\frac{\Delta}{\delta} = \frac{0,001}{0,000063}$$

$$= 23,726 > 1,8 \rightarrow x = 0,77 \cdot \Delta$$

$$= 0,77 \times 0,001$$

$$= 0,001 \text{ m}$$

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

$$= \left[ \frac{\log(10,6)}{\log(10,6 \cdot \frac{0,001155}{0,001})} \right]^2$$

$$= 1,298701$$

Untuk fraksi butiran  $d1 = 11,517 \text{ mm} = 0,011 \text{ m}$

$$\frac{d1}{x} = \frac{0,011}{0,001}$$

$$= 9,971$$

Untuk  $\frac{d1}{x} = 9,971$  dari gambar 3. ,didapat nilai *hiding factor*  $\zeta = 1,2$

$$\frac{k_s}{\delta} = \frac{D_{65}}{\delta}$$

Dengan:

$k_s$  =Kekasaran butiran.

$\delta$  =Tebal lapisan *sub-viscous*.

$$\frac{k_s}{\delta} = \frac{1,5 \times 10^{-3}}{0,000063}$$

$$= 23,726$$

$\frac{k_s}{\delta} = 23,726 > 5$ , maka dari gambar 3. Diperoleh nilai koreksi gaya angkat

$$(Y) = 0,5$$

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

$$\Psi_{i'} = \zeta_l Y_l \left[ \frac{\beta}{\beta x} \right]^2 \Psi \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.17a}$$

Dengan:

$\Psi_{i'}$  =Intensitas aliran yang telah dikoreksi.

$\zeta_l$  =Faktor koreksi *hiding factor*.

$Y_l$  =Faktor koreksi terhadap koefisien gaya angkat.

$$\Psi_{i'} = 1 \times 0,5 \times 1,298 \times 5,537$$

$$= 4,314$$

Dari grafik Einstein pada gambar 3.18 untuk nilai  $\Psi_{oi}' = 4,314$  didapat nilai  $\theta = 0,8$ . Selanjutnya besarnya angkutan sedimen dasar untuk fraksi d1 dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$(i_b q_b)_1 = i_b \theta_1 \rho_s (g d_1)^{3/2} \left( \frac{Y_s - Y}{\gamma} \right)^{1/2} \dots \dots \dots \text{Persamaan 3.18}$$

Dengan:

$q_b$  = Besarnya angkutan sedimen dasar.

$i_b$  = Fraksi angkutan sedimen dasar berukuran d1.

$g$  = Gravitasi.

$d_1$  = Ukuran butiran rata-rata d1.

$$\begin{aligned} (i_b q_b)_1 &= 0,051 \times 0,8 \times (2650/9,81 \times 1000) \times ((9,81 \times 0,011)^{3/2} \times (1,65)^{1/2}) \\ &= 0,00055 \text{ kg/m/detik} \end{aligned}$$

Untuk fraksi  $d_2 = 1,138 = 0,001 \text{ m}$

$$\frac{d_2}{x} = \frac{0,001}{0,001} = 0,985, \text{ maka didapat } \textit{hiding factor} \zeta = 1,2$$

Untuk  $\frac{D_{65}}{\delta} = 23,726 > 5$ , maka diperoleh nilai koreksi gaya angkat  $Y = 0,5$

Intensitas aliran yang telah dikoreksi

$$\begin{aligned} \Psi_{oi}' &= \zeta_1 Y_1 \left[ \frac{\beta}{\beta x} \right]^2 \Psi \\ &= 1 \times 0,5 \times 1,298 \times 0,547 \\ &= 0,426 \end{aligned}$$

Untuk nilai  $\Psi_{oi}' = 0,426$ , maka didapat nilai  $\theta = 0$ . Selanjutnya besarnya angkutan sedimen dasar untuk fraksi d2 dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} (i_b q_b)_2 &= i_b \theta_2 \rho_s (g d_1)^{3/2} \left( \frac{Y_s - Y}{\gamma} \right)^{1/2} \\ &= 0,103 \times 0 \times (2650/(9,81 \times 1000)) \times ((9,81 \times 0,001)^{3/2}) \times (1,65^{1/2}) \\ &= 0 \text{ kg/m/detik} \end{aligned}$$

Untuk fraksi  $d_3 = 0,175 \text{ mm} = 0,0001 \text{ m}$

$$\frac{d_3}{x} = \frac{0,0001}{0,001} = 0,151, \text{ maka didapat nilai } \textit{hiding factor} \zeta = 80$$

Untuk  $\frac{D_{65}}{\delta} = 23,726 > 5$ , maka diperoleh nilai koreksi gaya angkat ( $Y$ ) = 0,5

Intensitas aliran yang telah dikoreksi:



$$\begin{aligned}
 \Psi_{oi}' &= \zeta_1 Y_l \left[ \frac{\beta}{\beta x} \right]^2 \Psi \\
 &= 80 \times 0,5 \times 1,298 \times 0,084 \\
 &= 4,383
 \end{aligned}$$

Untuk nilai  $\Psi_{oi}' = 4,383$  didapat nilai  $\theta = 0,8$ . Selanjutnya besarnya angkutan sedimen dasar untuk fraksi d3 dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 (i_b q_b)_3 &= i_b \theta_2 \rho_s (gdI)^{3/2} \left( \frac{Y_s - Y}{\gamma} \right)^{1/2} \\
 &= 0,094 \times 0,8 \times (2650 \times (9,81 \times 1000)) \times (9,81 \times 0,0001)^{3/2} \times (1,65)^{1/2} \\
 &= 0,0000019 \text{ kg/m/detik}
 \end{aligned}$$

Setelah besar angkutan sedimen dasar untuk masing-masing ukuran butiran rata-rata diperoleh, selanjutnya dijumlahkan untuk diperoleh besar angkutan sedimen dasar untuk seluruh fraksi.

$$\begin{aligned}
 (i_b q_b)_{\text{total}} &= (i_b q_b)_1 + (i_b q_b)_2 + (i_b q_b)_3 \\
 &= 0,00055 + 0 + 0,0000019 \\
 &= 0,000549 \text{ kg/m/detik}
 \end{aligned}$$

Jadi besarnya angkutan sedimen pada titik 1 (Jembatan Pabelan 1) adalah:

$$\begin{aligned}
 q_B &= (\sum i_b q_b) \times 60 \text{ detik} \times 60 \text{ menit} \times 24 \text{ jam} \times B \\
 &= 0,000549 \times 60 \times 60 \times 24 \times 12,10 \\
 &= 573,512 \text{ kg/hari} \\
 &= 0,573 \text{ ton/hari}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah hasil analisis pada titik tinjauan 1 di Jembatan Pabelan 1 yang ditmpilkan pada Tabel 5.8 dan hasil analisis angkutan sedimen disajikan pada Tabel 5.9.

Tabel 5.8 Data aliran pada titik 1 Jembatan Pabelan 1

Data di titik I	
$Rb'$ (m)	0,132
$g$ (m/detik <sup>2</sup> )	9,81
$Q$ (m <sup>3</sup> /detik)	4,026
$B$ (m)	12,10
$S$	0,026

Tabel 5.8  
(Lanjutan)

$\mu$ (m <sup>2</sup> /detik)	0,000001
Ps (kg/m <sup>3</sup> )	2650
D35 (m)	0,00039
D65 (m)	0,0015

Sumber: Hasil analisis penelitian 2017

Tabel 5.9 Hasil analisis angkutan sedimen pada titik 1 (Jembatan Pabelan 1)

No	d (mm)	I <sub>b</sub> (%)	R <sub>b</sub> '	$\Psi_1$ '	$\frac{d}{x}$	$\zeta$	Y	$\Psi_{si}$	$\theta.i$	(i <sub>b</sub> q <sub>b</sub> )I (kg/m.detik)
1	0,011	5,186	0,132	5,537	9,971	1,2	0,5	4,314	0,8	0.00055
2	0,001	10,34	0,132	0,547	0,985	1,2	0,5	0,426	0	0
3	0,0001	9,474	0,132	0,084	0,151	80	0,5	4,383	0,8	0.000001
$\Sigma$										0,000549
Besarnya angkutan sedimen										0,573 ton/hari

Sumber: Hasil analisis penelitian 2017

Terdapat perubahan jumlah angkutan sedimen pada tahun 2017 dan tahun 2012, hal ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya yaitu debit aliran, lebar aliran sungai, kemiringan aliran, diameter dasar sungai.

Untuk hasil angkutan sedimen pada titik 2 dan 3 dapat dilihat pada Lampiran.

### C. Agradasi/Degradasi

Langkah-langkah perhitungan yang dilakukan dalam mencari agradasi/degradasi ialah sebagai berikut:

1. Perhitungan Debit Sedimen Perbulan (Qs)
  - a. Mencari nilai kekasaran saluran (nilai *manning*)

Diketahui data hidrometri di titik 1 dan 2 disajikan pada Tabel 5.10

Tabel 5.10 Data perhitungan hidrometri titik 1 dan 2.

Data perhitungan hidrometri	Titik 1 (Jembatan Pabelan 1)	Titik 2 (Jembatan Srowol)
Luas (A), m <sup>2</sup>	5,744	10,579
Keliling penampang basah (P), m	12,263	22,359
Luas penampang basah dalam "d"	16,148	25,347
<i>Sloope</i>	0,026	0,007
Kecepatan aliran rata-rata (V), m/detik	0,701	1,103
Debit, (Q), m <sup>3</sup> /detik	4,026	11,668
Lebar aliran (B), m	12,10	22,21
D <sub>50</sub> , mm	0,54	0,40
Gravitasi, (g), m/s <sup>2</sup>	9,81	9,81
Berat jenis sedimen (γ <sub>s</sub> ), kg/m <sup>3</sup>	2650	2650
Berat jenis air (γ), kg/m <sup>3</sup>	1000	1000

Sumber: Data hasil penelitian 2017.

Contoh perhitungan untuk agradasi/degradasi digunakan data di titik 1 sampai titik 2.

Mencari nilai jari-jari hidraulik (R)

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

$$= \frac{5,744}{12,263}$$

= 0,468 m, maka nilai kekasaran saluran ialah

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

$$0,701 = \frac{1}{n} \times 0,468^{2/3} \times 0,026^{1/2}$$

$$n = 0,138$$

b. Mencari kedalaman (d) perbulan

$$Q = V \times A$$

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

$$= \frac{1}{0,1387} \times \left( \frac{16,148d}{12,263} \right)^{2/3} \times 0,026^{1/2} \times 16,148d$$

$$4,026 = 22,549 d^2$$

$$d^2 = 0,178$$

$$d = 0,422 \text{ m} \rightarrow 42,25 \text{ cm}$$

c. Mencari kecepatan

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

$$= \frac{1}{0,1387} \times \frac{16,148d}{12,263} \times 0,026^{1/2}$$

$$= \frac{1}{0,1387} \times \left( \frac{16,148 \times 0,422}{12,263} \right)^{2/3} \times 0,026^{1/2}$$

$$= 0,786 \text{ m/detik}$$

d. Mencari  $qs$

Tegangan geser

$$\tau_0 = \gamma \times d \times S$$

Dengan:

$\gamma$  = Berat air per  $m^3$ .

$d$  = Kedalaman.

$S$  = Kemiringan saluran.

$$\tau_0 = 1000 \times 0,422 \times 0,026$$

$$= 10,986 \text{ kg/m}^2$$

Sehingga  $qs$  perbulan didapat dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} qs &= 0,05 \times \gamma_s \times V^2 \times \left( \frac{d_{50}}{g \times \left( \frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)} \right)^{1/2} \times \left( \frac{\tau_0}{g \times \left( \frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)} \right)^{3/2} \\ &= 0,05 \times 2560 \times 0,786^2 \times \left( \frac{0,00054}{9,81 \times \left( \frac{2650}{1000} - 1 \right)} \right)^{1/2} \times \left( \frac{10,986}{9,81 \times \left( \frac{2650}{1000} - 1 \right)} \right)^{3/2} \\ &= 0,110 \text{ kg/detik.meter} \end{aligned}$$

e. Mencari debit sedimen pertahun di titik 1 dan 2

$Q_s$  titik 1 = Lebar aliran  $\times qs$

$$= 12,10 \times 0,110$$

$$= 1,342 \text{ kg/detik}$$

$$= 1,342 \text{ kg/detik} \times 60 \text{ detik} \times 60 \text{ menit} \times 24 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned}
&= 115978,823 \text{ kg/hari} \times 365 \text{ hari} \\
&= 42332270,69 \text{ kg/tahun} \\
&= 42332270,69 \text{ kg/tahun} \times \frac{1}{2650} \text{ kg/m}^3 \\
&= 15974,44 \text{ m}^3/\text{tahun}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q_s \text{ titik 2} &= \text{Lebar aliran} \times q_s \\
&= 22,21 \times 0,038 \\
&= 0,864 \text{ kg/detik} \\
&= 0,864 \text{ kg/detik} \times 60 \text{ detik} \times 60 \text{ menit} \times 24 \text{ jam} \\
&= 74694,93 \text{ kg/hari} \times 365 \text{ hari} \\
&= 27263651,21 \text{ kg/tahun} \\
&= 27263651,21 \text{ kg/tahun} \times \frac{1}{2650} \text{ kg/m}^3 \\
&= 10288,17 \text{ m}^3/\text{tahun}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Debit sedimen } (\Delta Q) &= Q_{in} - Q_{out} \\
&= Q_s \text{ titik 1} - Q_s \text{ titik 2} \\
&= 15974,44 - 10288,17 \\
&= 5686,271 \text{ m}^3/\text{tahun}
\end{aligned}$$

- f. Mencari luas permukaan aliran dari titik 1 ke titik 2

$$\begin{aligned}
\text{Lebar aliran titik 1 (B1)} &= 12,10 \text{ m} \\
\text{Lebar aliran titik 2 (B2)} &= 22,21 \text{ m} \\
\text{Jarak dari titik 1-2} &= 2800 \text{ m} \\
\text{Luas permukaan (A}_{\text{permukaan}}) &= \left( \frac{B1+B2}{2} \right) \times \text{jarak} \\
&= \left( \frac{12,10 + 22,21}{2} \right) \times 2800 \\
&= 48034 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

2. Analisis perhitungan pada titik tinjauan  
Agradasi/degradasi titik 1 sampai titik 2

$$\text{Volume sedimen, } \Delta Q = 5686,271 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

$$\begin{aligned}
h &= \frac{\Delta Q}{A \text{ permukaan aliran}} \\
&= 0,118 \text{ m/tahun}
\end{aligned}$$

Sedangkan untuk agradasi/degradasi yang terjadi di titik 1 yaitu agradasi sebesar 0,118 m/tahun, dengan asumsi debit yang mengalir sepanjang tahun adalah debit yang dihitung berdasarkan pengambilan data tanggal 29 Maret 2017.