

BAB IV

METODE PENELITIAN

A. Tinjauan Umum

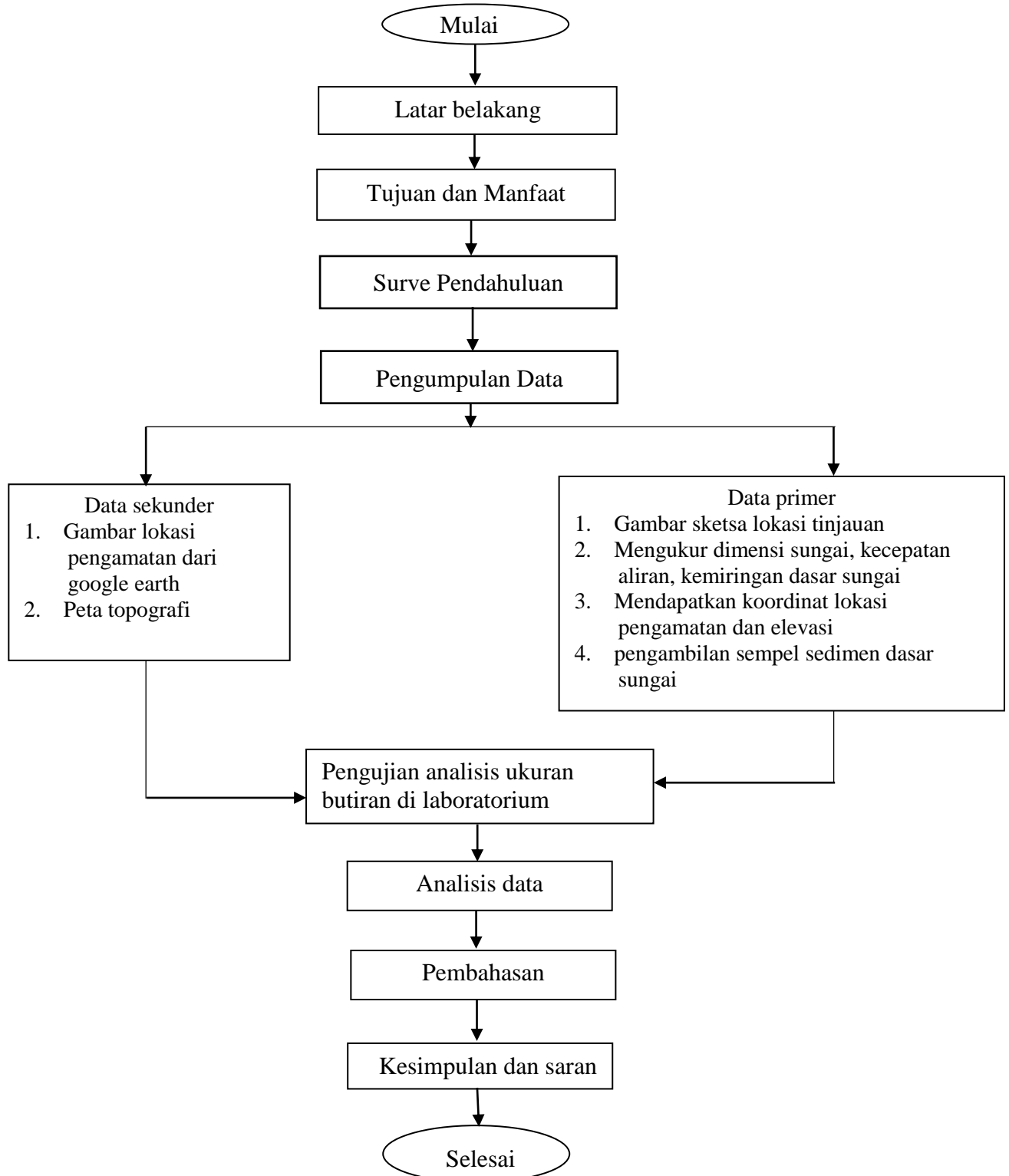
Pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui morfologi sungai Opak, distribusi ukuran sedimen dan *porositas* sedimen dasar Sungai Opak pasca erupsi Gunung Merapi 2010, serta mengetahui jumlah angkut sedimen yang terjadi setelah erupsi Gunung Merapi 2010. penentuan morfologi sungai dipake dari buku Dave Rosgen berjudul *Applied River Morphology* (1996). Porositas sedimen menggunakan rumus dari buku Muhammad sulaiman berjudul *Study on porosity of sediment Mixtures and a Bed porosity Variation Model* (2008) dan untuk menentukan besarnya angkut sedimen dasar Sungai Opak.

B. Maksud Dan Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui Morfologi Sungai Opak, *grandsize* dan porositas tanah endapan lahar dingin yang melalui Sungai Opak pasca erupsi Gunung Merapi tahun 2010. Serta mengetahui jumlah angkut sedimen Gunung Merapi tahun 2017.

Surve dilakukan pengambilan data langsung di lapangan dan di laboratorium, pengukuran tampang dan tampang memanjang Sungai Opak berupa lebar saluran sungai, lebar banjir, lebar aliran, lebar bantaran kanan, lebar bantaran kiri, kedalaman aliran, kecepatan aliran, tinggi tebing kanan, tinggi tebing kiri, kemiringan sungai persekmen 100 m.

C. Bagan Alir penelitian



Gambar 4.1 Bagan Alir Penelitian

D. Lokasi Pengamatan

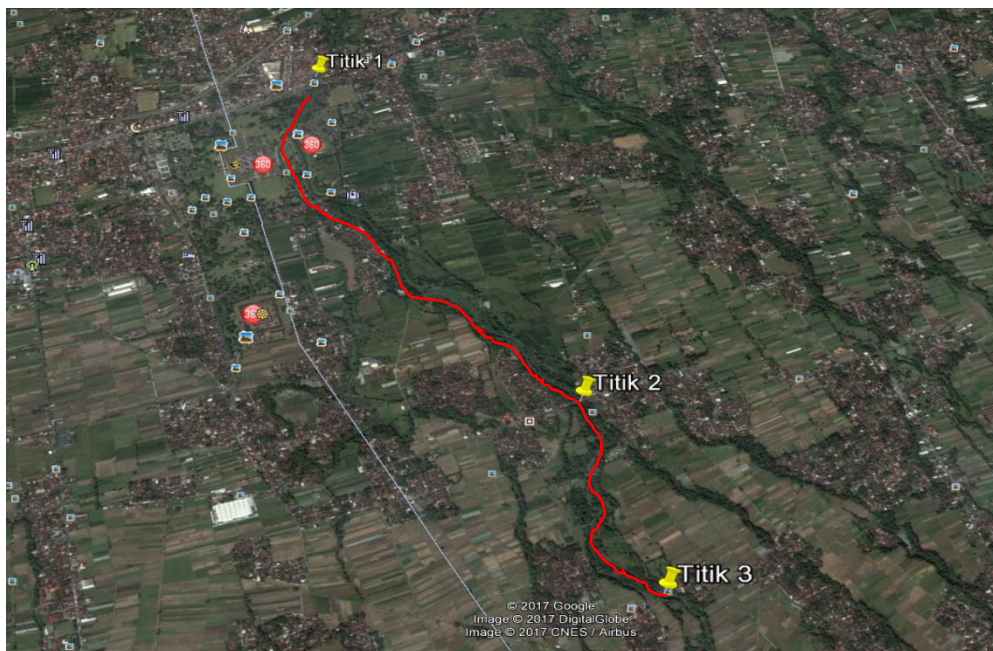
Pengambilan data pada Sungai Opak dilakukan 1 hari pada tanggal 28 maret 2017. Lokasi yang ditinjau adalah sepanjang Hulu ke hilir Sungai Opak dengan koordinat seperti pada Tabel 4.1:

Tabel 4.1 Lokasi penelitian

N0	Lokasi	Elevasi	Koordinat
1.	Jembatan Bogem	+148 m	S 7°45'22.95" E 110°29'14.53
2.	Jembatan Dusun Tulung	+178 m	S 7°44'10.29" E 110°28'58.87"
3.	Jembatan Sultan Dalem	+186 m	S 7°43'40.68" E 110°28'59.80'

Di bawah ini adalah keterangan gambar pada setiap segmen yang ditinjau yaitu

1. Peta aliran sungai Opak (Jembatan Bogem-Jembatan Dusun Tulung-
Jebatan Sultan Dalem)



Sumber : Google earth

Gambar 4.2 Lokasi Peta Sungai Opak

2. Jembatan Bogem



Gambar 4.3 Lokasi penelitian Jembatan Bogem



Gambar 4.4 Sungai di Jembatan Bogem

3. Jembatan Dusun Tulung



Gambar 4.5 Lokasi penelitian di Jembatan Dusun Tulung



Gambar 4.6 Sungai di Jembatan Tulung

4. Jembatan Sultan Dalem



Gambar 4.7 Lokasi penelitian di Jembatan Sultan Dalem



Gambar 4.8 Sungai di Jembatan Sultan Dalem

E. Pengambilan data

Pengambilan data dilakukan dengan cara pengambilan langsung (primer) yaitu dari pengambilan data langsung di lapangan dan dari hasil laboratorium. Pengambilan data juga dilakukan dengan cara tidak langsung (sekunder) yaitu referensi dari buku dan internet.

1. Data Morfologi

Pengambilan data dilakukan langsung ke lokasi Sungai Opak persegmen, data-data yang didapat yaitu pada pengukuran tampang melintang dan tampang memanjang Sungai Opak berupa lebar saluran sungai, lebar banjir, lebar aliran, lebar bantaran kanan, lebar bantaran kiri, kedalaman aliran, kecepatan aliran, tinggi tebing kanan, tinggi tebing kiri, kemiringan sungai, persegmen 100 m.

a. Data yang diamati adalah sebagai berikut:

- 1) Tampang memanjang berupa koordinat lokasi, elevasi tanah muka air laut, slope saluran sungai persegmen per 100 meter.
- 2) Tampang melintang berupa lebar aliran, lebar saluran, lebar bantaran, lebar banjir, tinggi tebing, kedalaman air, kecepatan aliran
- 3) Pengambilan sampel sedimen untuk uji analisis ukuran butiran (grain size) di laboratorium.
- 4) Wawancara singkat dengan warga sekitar Sungai Opak tentang keadaan sebelum dan sesudah banjir lahar dingin.

Data hasil pengamatan kemudian dimasukkan dalam formulir pengamatan yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 seperti berikut:

Tabel 4.2 Contoh lembar pengamatan

Lokasi : Sungai Opak		Koordinat :
Hari tanggal:		
Jam :		Elevasi :
LAPANGAN SKETSA		
NO	Data	Keterangan /ukuran
1	Lebar aliran	
2	Lebar banjir	

Tabel 4.2 Lanjutan

3	Lebar bantaran kanan	
4	Lebar bantaran kiri	
5	Kedalaman aliran	
6	Material dasar sungai	
7	Tinggi tebing kanan	
8	Tinggi tebing kiri	
9	Kecepatan aliran	
10	Kemiringan saluran	
11	Penambangan (yes/no)	
12	Lebar saluran	

b. Alat-alat yang digunakan pada saat pengambilan data adalah sebagai berikut:

1) Meteran 150 meter

Meteran 150 meter digunakan untuk mengukur lebar aliran, lebar bantaran, tinggi tebing, lebar saluran sungai.



Gambar 4.9 Meteran 150 meter

2) *Global Position System (GPS)*

Global Position System (GPS) yang digunakan adalah Garmin 60 yang berfungsi untuk menentukan koordinat lokasi pengamatan serta untuk menentukan elevasi lokasi pengamatan dari muka air laut (0 meter).



Gambar 4.10 *Global Position System (GPS) Garmin 60*

3) Meteran 5 meter

Meteran 5 meter dipakai untuk mengukur tinggi permukaan aliran air



Gambar 4.11 Meteran 5 meter

4) Bola plastik

Bola plastik digunakan untuk mengetahui kecepatan aliran sungai



Gambar 4.12 Bola plastik

5) Selang plastik

Selang plastik digunakan untuk mengetahui *slope* saluran sungai persegmen per 200 meter



Gambar 4.13 Selang plastik

6) Tongkat bambu

Tongkat bambu digunakan untuk menentukan kedalaman sungai dan menentukan titik estimasi elevasi



Gambar 4.14 Tongkat bambu

7) Cetok

Cetok digunakan untuk mengambil sampel sedimen dasar sungai untuk diuji di laboratorium.



Gambar 4.15 Cetok

8) *Stopwatch*

Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu untuk mengetahui kecepatan aliran sungai.



Gambar 4.16 *Stopwatch*

2. Data distribusi butirsan

Pengambilan sampel dilakukan dilapangan pada tanggal 28 maret 2017 dan kemudian dilakukan pengujian dilaboratorium Teknologi Beton program S1 Teknik Sipil UMY pada tanggal 30 maret 2017, adapun alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Peralatan yang digunakan

1) Saringan

Saringan digunakan untuk menyaring sampel sedimen



Gambar 4.17 Saringan

2) Wadah besih

Wadah besih digunakan untuk meletakkan sampel sedimen dari lapangan untuk dimasukkan dalam oven dan untuk menimbang sampel yang sudah kering



Gambar 4.18 Wadah besih

3) Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengetahui berat sampel sedimen dasar sungai



Gambar 4.19 Timbangan

4) *Shave Shaker Machine*

Shave Shaker Machine digunakan untuk mengayak sampel sedimen dasar sungai pada saringan



Gambar 4.20 *Shave Shaker Machine*

5) Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan sampel sedimen



Gambar 4.21 Oven

- b. Langkah-langkah kerja pengujian distribusi butiran, yaitu:
- 1) Letakan sampel sedimen didalam cawan setelah itu dikeringkan dengan cara dimasukan kedalam oven dengan suhu 150°C sampai mengering.
 - 2) Mengambil sampel sedimen dari dalam oven.
 - 3) Memasukkan sampel sedimen kedalam set ayakan.
 - 4) Memasang set ayakan kedalam alat getar ayakan (*shave shaker machine*) kemudian digetarkan
 - 5) Mengambil ayakan dari atas alat getar kemudian sampel sedimen yang tertinggal dari masing-masing ayakan ditimbang
- c. Hasil pengujian dilaboratorium.

Sampel sedimen dasar sungai diuji di laboratorium kemudian hasil disusun dalam sebuah Tabel 4.3 seperti contoh di bawah:

Tabel 4.3 Analisis ukuran butiran

Lokasi asal sampel		Sungai Opak Titik 1			
Jenis sampel		Sedimen dasar segmen 1 Jembatan Bogem			
Berat sampel yang di uji		500 gr			
Tanggal pengujian		30 maret 2017			
Lokasi pengujian		Laboratorium teknik sipil UMY			
Analisis Distribusi Ukuran Butiran					
Diameter		Berat			
(mm)	Tertahan(gr)	Tertahan(%)	Kumulatif(gr)	Kumulatif(%)	Lolos(%)
76.2					100
63.5					100
50.8					100
36.1					100
25.4					100
19.1					100
12.7	62.20	12.44	62.20	12.44	87.56
11.2	34.55	6.91	96.75	19.35	80.65
9.52	28.86	5.772	125.61	25.122	74.878
4.75	42.82	8.564	168.43	33.686	66.314

Tabel 4.3 Lanjutan

2.35	52.99	10.598	221.42	44.284	55.716
1.18	78.45	15.69	295.87	59.974	40.026
0.6	109.27	21.854	405.14	81.828	18.172
0.425	34.45	6.89	439.59	88.718	11.282
0.3	19.38	3.876	458.97	92.594	7.406
0.15	23.30	4.66	482.27	97.254	2.746
0.075	12.77	2.746	495.04	100	0
Pan					0
Jumlah	499.04	99.808			

Perhitungan:

1) Berat tertahan (%)

$$\begin{aligned}
 \text{Bertahan tertahan (\%)} &= \frac{\text{berat tertahan}}{\text{Berat total tertahan}} \times 100 \\
 &= \frac{62.20}{500} \times 100 \\
 &= 12,44 \%
 \end{aligned}$$

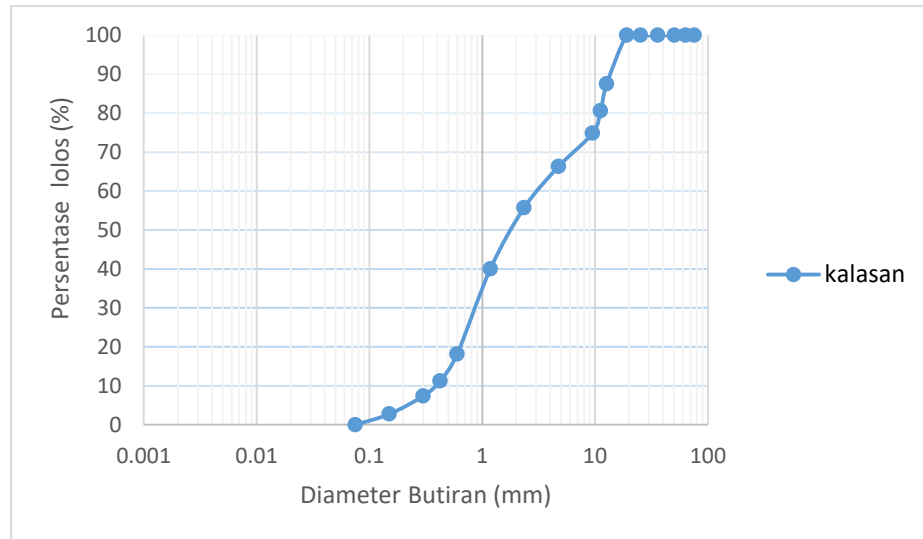
2) Berat komulatif (%)

$$\begin{aligned}
 &= \text{Berat komulatif sebelumnya (\%)} + \text{Berat tertahan yang ditinjau} \\
 &= 0 + 12,44 \\
 &= 12,44 \%
 \end{aligned}$$

3) Berat komulatif lolos ayakan (%)

$$\begin{aligned}
 \text{Berat komulatif lolos ayakan (\%)} &= 100 \% - \text{Berat komulatif \%} \\
 &= 100 - 12,44 \\
 &= 87,56 \%
 \end{aligned}$$

4) Dari hasil perhitungan kemudian ditampilkan dalam Grafik (Gambar 4.20).



Gambar 4.22 Grafik analisis ukuran butiran segmen 1 Jembatan Bogem

- 5) Dihitung jumlah sampel tanah yang hilang selama proses pengujian dengan rumus.

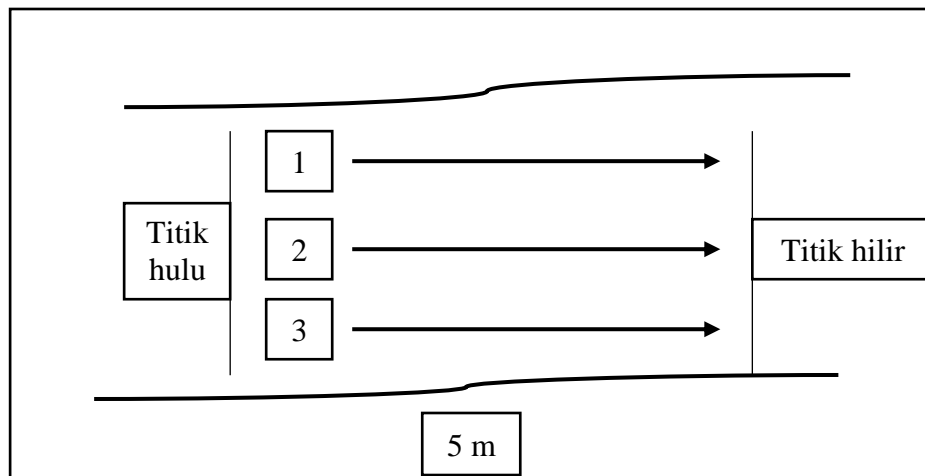
$$\begin{aligned}
 &= \frac{w-w_i}{w} \times 100 \\
 &= \frac{500-499}{500} \times 100 \\
 &= 0,192 \%
 \end{aligned}$$

f. Contoh perhitungan

Contoh perhitungan yang digunakan tipe morfologi, distribusi butiran sedimen dasar sungai opak, kemudian data dari analisis distribusi butiran dapat mengetahui porositas dan jumlah angkut sedimen. Perhitungan ini akan menjelaskan langkah-langkah penjelasan dan rumus-rumus untuk menghitung perhitungan hidrometer dan menentukan tipe morfologi, porositas serta jumlah angkut sedimen yang melewati aliran Sungai opak. Perhitungan diambil dari data pada segmen muara Sungai opak yaitu di daerah perambanan.

1. Perhitungan hidrometri

a. Kecepatan aliran



Gambar 4.23 Contoh Pengambilan data kecepatan aliran segmen 1 Jembatan Bogem-Jembatan Dsn Tulung

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{L}{T} \\
 &= \left(\frac{5}{10,6} + \frac{5}{3,5} + \frac{5}{4,5} \right) / 3 \\
 &= \frac{0,471 + 1,428 + 1,111}{3} \\
 &= 1,0033 \text{ m/detik}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 V &= 1,0033 \cdot 0,90 \\
 &= 0,902 \text{ m/detik}
 \end{aligned}$$

b. Luas penampang basah aliran sungai

Menentukan nilai m, nilai m adalah kemiringan talud.

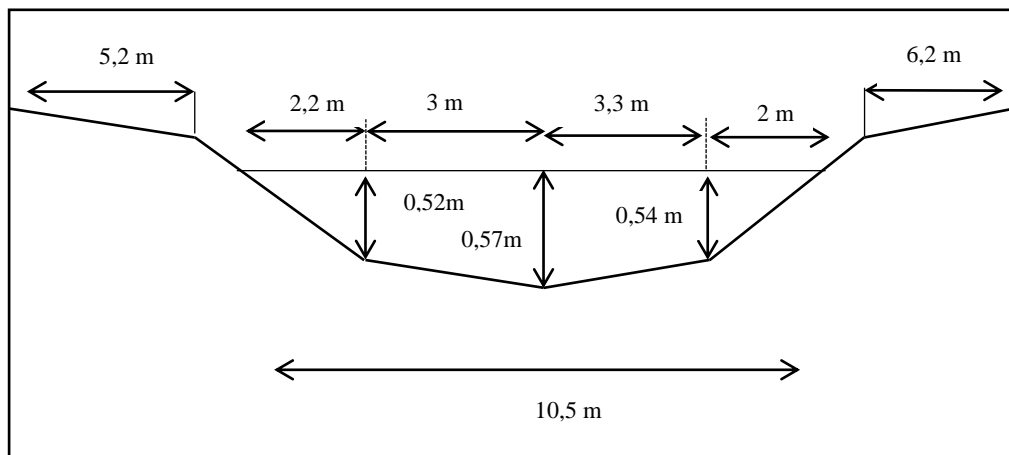
Diperoleh data sebagai berikut:

Kedalaman aliran kiri = 0,47 m

Kedalaman aliran bagian tengah = 0,57 m

Kedalaman aliran bagian kanan = 0,46 m

Lebar dasar saluran = 10,5 m



Gambar 4.24 Sketsa penampang melintang sungai segmen 1 Jembatan Bogem

Contoh perhitungan luas penampang aliran sungai segmen 1 jembatan bogem, kalasan

$$\begin{aligned} \text{Luas segmen I: } A &= \frac{\text{Alas} \times \text{tinggi}}{2} \\ &= \frac{2 \times 0,52}{2} \\ &= 0,572 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas segmen II: } A &= \frac{\text{jumlah sisi sejajar} \times \text{tinggi}}{2} \\ &= \frac{(0,52+0,57) \times 3}{2} \\ &= 1,635 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas segmen III: } &= \frac{\text{jumlah sisi sejajar} \times \text{tinggi}}{2} \\ &= \frac{(0,57+0,54) \times 3,3}{2} \\ &= 1,8315 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas segmen IV: } &= \frac{\text{Alas} \times \text{tinggi}}{2} \\ &= \frac{2,2 \times 0,54}{2} \\ &= 0,54 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Total} = 4,578 \text{ m}^3$$

c. Debit

$$\begin{aligned} Q &= A.V \\ &= 4,578 \cdot 0,902 \\ &= 4,1293 \text{ m}^2/\text{detik} \end{aligned}$$

2. Analisis perhitungan morfologi

a. Menghitung *Entrenchment Ration*

$$\begin{aligned} \text{Entrenchment Ration} &= \frac{\text{lebar aliran banjir}(Wfpa)}{\text{Lebar aliran sungai}(Wbkf)} \\ &= \frac{12,3}{10,5} \\ &= 1,171 \text{ (C,D dan E)} \end{aligned}$$

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

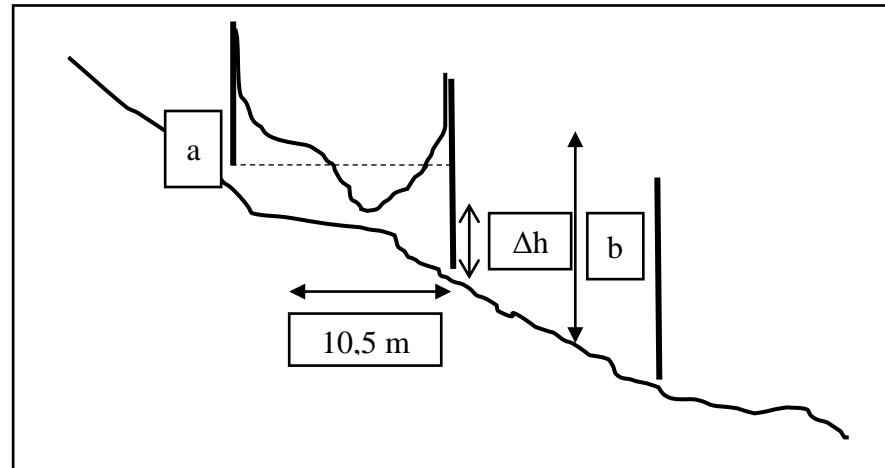
$$\begin{aligned} \text{Width/Depth Ration} &= \frac{\text{lebar aliran sungai}(Wfpa)}{\text{kedalaman aliran}(Wbkf)} \\ &= \frac{10,5}{0,54} \\ &= 19,44 \text{ (Tipe sungai A)} \end{aligned}$$

c. Menghitung kemiringan sungai (*slope*)

Menghitung kemiringan dilakukan per titik tinjauan dengan jarak 200 m dan menentukan elevasi atas dengan estimasi +100 m di atas permukaan air laut. Pengambilan data dilakukan dengan jarak 10 m Dengan jarak total 100 m.

$$\begin{aligned} \text{Kemirngan sungai} &= \frac{\text{elevasi}}{100} \times 100 \\ &= \frac{148}{100} \times 100 \\ &= 1.48 \% = 0,0148 \text{ (Tipe Sungai A,C,E,F)} \end{aligned}$$

Contoh pengukuran kemiringan (*slope*) dapat dilihat pada Gambar 4.23 di bawah ini:



Gambar 4.25 Pengukuran kemiringan sungai (*slope*)

- d. Menentukan jenis butiran material permukaan yang dominan (D-50).
 Dari tabel analisis ukuran butiran pada segmen 1 Sungai Opak di daerah Candi Prambanan, diketahui nilai $D_{50} = 0,54$ mm, jadi dapat disimpulkan bahwa material dasar permukaan yang lebih dominan adalah material lanau berukuran kurang lebih 0,54 mm. Jadi dapat disimpulkan bahwa morfologi Sungai Opak pada tinjauan segmen Sungai Opak daerah prambanan adalah sungai tipe C6

3. Perhitungan jumlah angkutan sedimen

Data aliran dan sedimen:

Debit aliran, $Q = 4,1293 \text{ m}^3/\text{detik}$

Lebar aliran, $B = 10.5 \text{ m}$

Slope, $S = 0,0148 \text{ m}$

Viskositas air, $\nu = 1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Rapat massa rata-rata sedimen dasar sungai, $\gamma = 2650 \text{ kg/m}^3$

Ukuran butiran hasil analisis saringan pada titik 1 Jembatan Bogem di daerah Kalasan ditunjukkan pada Tabel 4.4:

Tabel 4.4 ukuran butiran hasil analisis saringan titik 1 Jembatan Bogem

Interval ukuran butiran (mm)	Ukuran butiran rata-rata (mm)	% Material
12,7-4,75	9,542	33,686 %
2,35-0,425	1,138	55,032 %
0,3-0,075	0,1755	11,282 %

$$d_{35} = 0,22 \text{ mm}$$

$$d_{65} = 0,44 \text{ mm}$$

Mencari nilai R_b' dengan cara coba-coba, sehingga hasil hitungan debit aliran yang didasarkan pada nilai R_b' nilainya sama dengan debit aliran yang diketahui, $Q = 2,8031 \text{ m}^2/\text{detik}$

$$R_b' = 0,13 \text{ m}$$

Kecepatan gesek akibat kekasaran butiran

$$\begin{aligned} U' &= \sqrt{g \cdot R_b' \cdot S} \\ &= \sqrt{9,81 \times 0,13 \times 0,0148} \\ &= 0,1373 \text{ m}^2/\text{detik} \end{aligned}$$

Tebal lapisan sub-viscous

$$\delta' = \frac{11,6 \cdot \mu}{U'} = \frac{11,6 \times 10^{-6}}{0,1373} = 0,0000844 \text{ m}$$

Nilai $k_s = d_{65}$

$$\frac{k_s}{\delta'} = \frac{d_{65}}{\delta'} = \frac{0,00044}{0,0000844} = 5,213 \text{ m}$$

Nilai $\frac{k_s}{\delta'} = 5,213$ dari gambar 3.14, diperoleh nilai $x = 1,1$

Kecepatan aliran rata-rata V , dihitung dengan persamaan logaritma

$$\begin{aligned} V &= 5,75 \cdot U' \cdot \text{Log}\left(12,27 \frac{R_b' \cdot x}{k_s}\right) \\ &= 5,75 \cdot 0,1373 \cdot \text{log}\left(12,27 \frac{0,13 \cdot 1,1}{0,00044}\right) = 2,8444 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Intensitas aliran, ψ

$$\begin{aligned} \Psi &= \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{d_{35}}{S \cdot R_b} \\ &= 1,65 \frac{0,00022}{0,0148 \times 0,13} \\ &= 0,1886 \text{ m} \end{aligned}$$

Nilai $\Psi = 0,1886$ dari Gambar 3.15, diperoleh nilai

$$\frac{V}{U'} = 100$$

$$U'' = 2,844 / 100 = 0,02844 \text{ m/s}$$

$$U'' = \sqrt{g \cdot R_b'' \cdot S}$$

$$R_b'' = \frac{U'}{g S} = \frac{0,02844 \times 0,02844}{9,81 \cdot 0,0148} = 0,00557 \text{ m}$$

$$R_b = R_b' + R_b''$$

$$= 0,13 + 0,00557 = 0,13557 \text{ m}$$

$$R_b = \frac{Bh}{B+2h} = \frac{10,5}{10,5+2h} = 0,13557 \text{ m} = h = 0,13916$$

$$\text{Cara mencari nilai } h = 0,13557 = \frac{10,5h}{10,5+2h}$$

$$1,4234 + 0,27114 h = 10,5 h$$

$$1,4234 = 10,5 h - 0,27114 h$$

$$1,4234 = 10,2288 h$$

$$h = 0,13916$$

Kontrol hitungan debite

$$Q = A \cdot V = (b \cdot h \cdot V)$$

$$= 10,5 \cdot 0,13916 \cdot 2,8444$$

$$= 4,1561 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 4,129 \text{ m}^3/\text{s}$$

Jadi jari-jari hidraulik akibat kekasaran butiran yang dipakai adalah

$$R_b' = 0,087 \text{ m}$$

Dengan berdasarkan nilai R_b' yang benar, selanjutnya dilakukan hitungan angkutan sedimen menurut Einstein

$$\Psi = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{d}{S \cdot R_b} = 1,65 \frac{d}{0,0148 \cdot 0,13} = d = \frac{1,65}{0,0148 \cdot 0,13} = 857,588 \text{ d}$$

$$U'' = \sqrt{g \cdot R_b' \cdot S}$$

$$= \sqrt{9,81 \times 0,13 \times 0,0148} = 0,1373 \text{ m/s}$$

$$\delta' = \frac{11,6 \cdot v}{U'} = \frac{11,6 \cdot 10^{-6}}{0,1373} = 0,0000844 \text{ m}$$

$$\frac{ks}{\delta'} = \frac{d \cdot 65}{\delta'} = \frac{0,00044}{0,0000844} = 5,213 \text{ m}$$

Nilai $\frac{ks}{\delta'} = 5,213$ dari Gambar 3.14, diperoleh nilai $x = 1$

Kekasaran dasar saluran

$$\Delta = \frac{d_{65}}{x} = \frac{0,00044}{1} = 0,00044 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \frac{\Delta}{\delta'} &= \frac{0,00044}{0,0000844} = 5,213 > 1,8 \rightarrow x = 0,77 \\ &= 0,77 \cdot 0,00044 \\ &= 0,000338 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left[\frac{\beta}{\beta x} \right]^2 &= \left[\frac{\log(10,6)}{\log(10,6 \cdot x/\Delta)} \right]^2 = \left[\frac{\log(10,6)}{\log(10,6 \cdot 0,000338/0,00044)} \right]^2 \\ &= 1,157 \text{ m} \end{aligned}$$

D₁ Untuk fraksi ukuran butiran, $d_1 = 9,542 \text{ mm} = 0,00954 \text{ m}$

$$\frac{d_1}{X} = \frac{0,00954}{0,000338} = 28,164 \text{ m}$$

Untuk $\frac{d_1}{X} = 28,164$ dari Gambar 3.16, diperoleh nilai hiding factor $\xi = 1$

Untuk $\frac{d_{65}}{\delta'} = 4,272$ dari Gambar 3.14, diperoleh nilai koreksi gaya angkat $Y = 0,5$

Intensitas aliran yang telah dikoreksi

$$\begin{aligned} \Psi_{i'} &= \xi_i \cdot Y_i \cdot \left[\frac{\beta}{\beta x} \right]^2 \cdot \Psi_i' \\ &= 1 \cdot 0,5 \cdot 1,157 \cdot 857,588 \cdot d_1 \\ &= 1 \cdot 0,5 \cdot 1,157 \cdot 857,588 \cdot 0,00954 \\ &= 4,7341 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Untuk $\Psi_{i'} = 4,7341$ dari gambar 3.18, diperoleh nilai $\theta = 1$

Selanjutnya besaran angkutan sedimen suspensi untuk fraksi butiran d_1 .

$$\begin{aligned} (i_b q_b) &= i_b \cdot \theta \cdot \gamma_s \cdot (g \cdot d_1)^{2/3} \cdot \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right)^{1/2} \\ &= 0,033 \cdot 1 \cdot 2650/9,81 \cdot (9,81 \cdot 0,00954)^{3/2} \cdot (1,65)^{1/2} \\ &= 0,000335 \text{ m}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

D₂ Untuk fraksi ukuran butiran, $d_2 = 1,138 \text{ mm} = 0,00114 \text{ m}$

$$\frac{d_2}{X} = \frac{0,00114}{0,000338} = 3,364 \text{ m}$$

Untuk $\frac{d_2}{X} = 3,364$ dari Gambar 3.16 diperoleh nilai hiding factor $\xi = 1$

Untuk $\frac{d_{65}}{\delta'} = 5,213$ dari Gambar 3.17, diperoleh nilai koreksi gaya angkat $Y = 0,5$

Intensitas aliran yang telah dikoreksi

$$\begin{aligned}\Psi_{,i}' &= \xi_1 \cdot Y_1 \cdot \left[\frac{\beta}{\beta x} \right]^2 \cdot \Psi_{,}' \\ &= 1 \cdot 0,5 \cdot 1,157 \cdot 857,588 \cdot d_1 \\ &= 1 \cdot 0,5 \cdot 1,157 \cdot 857,588 \cdot 0,00114 \\ &= 0,5655 \text{ m}^3/\text{kg}\end{aligned}$$

Untuk $\Psi_{,i}' = 0,5655$ dari Gambar 3.18, diperoleh nilai $\theta = 10$ selanjutnya besar angkutan sedimen untuk fraksi butiran d_1 .

$$\begin{aligned}(i_b q_b)_1 &= i_b \cdot \theta \cdot \gamma_s \cdot (g \cdot d_1)^{2/3} \cdot \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right)^{1/2} \\ &= 0,055 \cdot 10 \cdot 2650/9,81 \cdot (9,81 \cdot 0,0014)^{3/2} \cdot (1,65)^{1/2} \\ &= 0,000225 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

D₃. Untuk fraksi ukuran butiran, $d_3 = 0,1755 \text{ mm} = 0,00018 \text{ m}$

$$\frac{d_3}{X} = \frac{0,00018}{0,000338} = 0,531 \text{ m}$$

Untuk $\frac{d_3}{X} = 0,531$ dari Gambar 3.16, diperoleh nilai *hiding factor* $\mathcal{E} = 3$

Untuk $\frac{d_{65}}{X} = 5,213$ dari Gambar 3.17, diperoleh nilai koreksi gaya angkat $Y = 0,5$

Intensitas aliran yang telah dikoreksi

$$\begin{aligned}\Psi_{,i}' &= \xi_1 \cdot Y_1 \cdot \left[\frac{\beta}{\beta x} \right]^2 \cdot \Psi_{,}' \\ &= 3 \cdot 0,5 \cdot 1,157 \cdot 857,588 \cdot d_3 \\ &= 3 \cdot 0,5 \cdot 1,157 \cdot 857,588 \cdot 0,00018 \\ &= 0,2679 \text{ m}^3/\text{kg}\end{aligned}$$

Untuk $\Psi_{,i}' = 0,2679$ dari Gambar 3.18, diperoleh nilai $\theta = 10$

Selanjutnya besar angkutan sedimen suspensi untuk fraksi butiran d_1 .

$$\begin{aligned}(i_b q_b) &= i_b \cdot \theta \cdot \gamma_s \cdot (g \cdot d_1)^{2/3} \cdot \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right)^{1/2} \\ &= 0,0112 \cdot 10 \cdot 2650/9,81 \cdot (9,81 \cdot 0,00018)^{3/2} \cdot (1,65)^{1/2} \\ &= 0,00000290 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Tabel 4.5 Nilai untuk menghitung angkut sedimen

	D(mm)	I _b (%)	R _b ,	Ψ,'	d/x	ξ	Y	Ψ _i '	θ,	(i _B q _B) (Kg/ms)
1	0,00954	0,336	0,13	8,183	28,16	1	0,5	4,734	1	3,34x10 ⁻⁴
2	0,00114	0,551	0,13	0,977	3,36	1	0,5	0,565	10	2,25x10 ⁻⁴
3	0,00018	0,112	0,13	0,154	0,53	3	0,5	0,267	10	2,9x10 ⁻⁶
									Σ	5,63x10 ⁻⁴

Jadi besar angkutan sedimen:

$$\begin{aligned}
 Q_B &= (\sum i_b q_b) \times 60 \text{ detik} \times 60 \text{ detik} \times 24 \text{ jam} \times B \\
 &= 5,63 \times 10^{-4} \times 60 \times 60 \times 24 \times 10,5 \\
 &= 511,206 \text{ kg/hari} = 0,5112 \text{ ton/hari}
 \end{aligned}$$

4. Perhitungan porositas

Porositas adalah ruang pori total (ruang kosong) yang terdapat dalam satuan volume tanah yang dapat ditempati oleh air atau udara. Porositas dapat dihitung setelah grafik distribusi ukuran butiran diperoleh, dan ditentukan jenis material dominannya. Hal ini penting agar dapat menentukan jenis distribusi ukuran butirannya.

Contoh perhitungan porositas material dasar sungai di segmen 2 Sungai Opak daerah prambanan:

- a. Dengan berdasarkan hasil pengujian gradasi ps_j (porositas kelas j) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 P_{sj} \text{ (porositas) kelas 1} &= \frac{\% \text{komulatif}}{100} \\
 &= \frac{12,44}{100} \\
 &= 0,1244 \%
 \end{aligned}$$

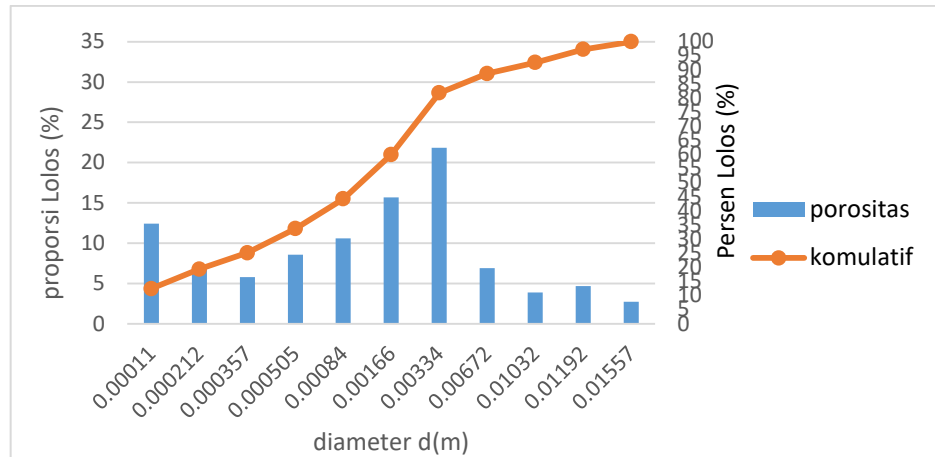
$$\begin{aligned}
 \text{Diameter butiran kelas 1} &= \sqrt{(dd_1 \times dd_2)} \\
 &= \sqrt{(0,000075 \times 0,00015)} \\
 &= 0,00011 \text{ m}
 \end{aligned}$$

b. Hasil perhitungan disajikan ke dalam tabel, seperti Tabel 4.6:

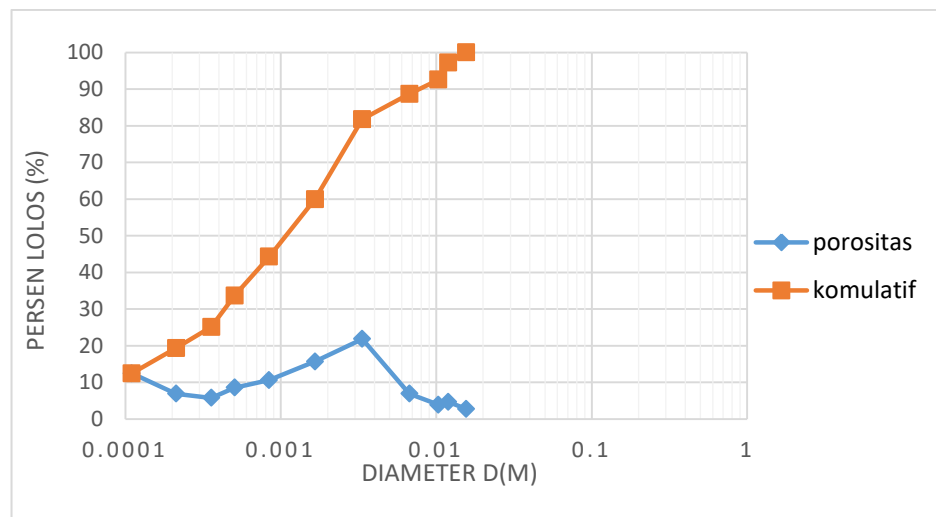
Tabel .4.6 Tabel perhitungan porositas

Segmen 1 Jembatan Bogem Sungai Opak						
Mewakiligs $d(j) = \sqrt{(dd) * dd(j)}$		Proporsi $fs(j)$	Proporsi $fs(j) (\%)$	j-th ukuran butir $dd(j+1) = d(j)^2 / dd(j)$		Kumulatif distribusi ukuran butiran (%)
$d(1)$	0,00011	0,1244	12.44	$dd(1)$	0.000075	12.44
$d(2)$	0,00021	0,0691	6.91	$dd(2)$	0.00015	19.35
$d(3)$	0,00035	0,05772	5.772	$dd(3)$	0.0003	25.122
$d(4)$	0,00051	0,0856	8.564	$dd(4)$	0.000425	33.686
$d(5)$	0,00084	0,1059	10.598	$dd(5)$	0.0006	44.284
$d(6)$	0,00166	0,1569	15.69	$dd(6)$	0,00118	59.974
$d(7)$	0,00334	0,2185	21.854	$dd(7)$	0,00235	81.828
$d(8)$	0,00672	0,0689	6.89	$dd(8)$	0,00475	88.718
$d(9)$	0,01032	0,0387	3.876	$dd(9)$	0,00952	92.594
$d(10)$	0,01183	0,0466	4.66	$dd(10)$	0,0112	97.254
$dd(11)$	0,01545	0,0274	2.746	$dd(11)$	0,0127	100
					0,0191	

c. Dari nilai pada di atas dapat disajikan sebuah grafik kurva, kolom dan grafik



Gambar 4.26 Gambar grafik distribusi ukuran butiran dan kolom proporsi persentase sedimen.



Gambar 4.27 Gambar grafik diameter dominan (d_{50}) dan diameter puncak (d_{peak})

- d. Tipe distribusi ukuran butiran ditentukan berdasarkan nilai parameter γ dan β (*gamma* dan *beta*)

$$\begin{aligned}\gamma &= \frac{\log d_{max} - \log d_{50}}{\log d_{max} - \log d_{min}} \\ &= \frac{\log 0,0127 - \log 0,0011}{\log 0,0127 - \log 0,000075} \\ &= 0,4767 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{\log d_{max} - \log d_{peak}}{\log d_{max} - \log d_{min}} \\ &= \frac{\log 0,0127 - \log 0,00334}{\log 0,0127 - \log 0,000075} \\ &= 0,260 \%\end{aligned}$$

Ukuran M Tallbot, lognormal dan M anti tallbot (sulaiman 2008). Dari nilai parameter γ dan β (gamma dan betta) dan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.26 maka kemudian dapat diketahui jenis distribusi ukuran butiran berdasarkan diagram hubungan antara γ dan β dengan indikasi tipe distribusi M Tallbot, log normal, anti tallbot. Dari diagram tersebut diketahui bahwa jenis distribusi ukuran butiran adalah M tallbot.

e. Diameter median (d_{mean}) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} d_{\text{mean}} &= (d_j \times p_{sj}) \\ &= (0,00011 \times 0,1244) \\ &= 0,00001368 \text{ m} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaanyang sama kemudian dihitung diameter median (d_{mean}) seluruh fraksi kemudian dijumlahkan seluruhnya.

$$\begin{aligned} D_{\text{mean total}} &= (\Sigma_{\text{mean}}) \\ &= 0,0028 \% \end{aligned}$$

f. Menghitung Ln (diameter fraksi 1)

$$\begin{aligned} \text{Ln}(d_1) &= \text{Ln}(0,00011) \\ &= -9,1150 \text{ m} \end{aligned}$$

Dengan persamaan yang sama kemudian dihitung diameter saluran fraksi.

g. Menghitung Ln (diameter median)

$$\begin{aligned} \text{Ln}(d_{\text{mean}}) &= \text{Ln}(0,0028) \\ &= -5,8781 \% \end{aligned}$$

h. Setelah Ln (d_j) dan Ln (d) diketahui, standar deviasi (σ_L) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \sigma_{Ld_1} &= (\text{Ln}(d_{\text{mean}}) - \text{Ln}(d_{d_j}))^2 \cdot p_{sj} \\ &= (-9,1150) - (-5,878)^2 \cdot 0,1244 \\ &= 1,3034 \% \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan yang sama, dihitung standar devidian diameter seluruh fraksi, setelah nilai standar devidian diameter seluruh fraksi di ketahui, selanjutnya nilai standar dijumlahkan.

- i. Hasil perhitungan selengkapnya diperlihatkan dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.7 perhitungan porositas material dasar segmen 1 Jembatan

Bogem .

$(d_{mean}) = d_j \times p_{sj}$		d_j	p_{sj}	d_{mean}	$\ln(d_{mean})$	$\ln(p_{sj})$	$((\ln(d) - \ln(d))^2) \times p_{sj}$
$1,3684 \times 10^{-5}$	d_1	0,00011	0,1244	0,0028	-9,1150	-5,878	1,3034
$1,1056 \times 10^{-5}$	d_2	0,00016	0,0691	0,0028	-8,7403	-5,878	0,5661
$1,2121 \times 10^{-5}$	d_3	0,00021	0,05772	0,0028	-8,4684	-5,878	0,3871
$3,0816 \times 10^{-5}$	d_4	0,00036	0,0856	0,0028	-7,9294	-5,878	0,3602
$5,295 \times 10^{-5}$	d_5	0,0005	0,1059	0,0028	-7,6009	-5,878	0,3143
$1,3179 \times 10^{-4}$	d_6	0,00084	0,1569	0,0028	-7,0821	-5,878	0,2274
$7,2105 \times 10^{-4}$	d_7	0,0033	0,2185	0,0028	-5,7138	-5,878	0,0058
0,000463	d_8	0,0067	0,0689	0,0028	-5,0056	-5,878	0,0524
0,0004	d_9	0,01032	0,0387	0,0028	-4,5736	-5,878	0,0658
0,000551	d_{10}	0,01183	0,0466	0,0028	-4,4371	-5,878	0,0967
0,0004266	d_{11}	0,01545	0,0274	0,0028	-4,1701	-5,878	0,0799
$\Sigma = 0,0028$						$\Sigma =$	3,4591

- j. Setelah itu mencari nilai d_{50}/d_g dengan menentukan batas atas (*upper boundary*) dan batas bawah (*under boundary*) dari komulatif distribusi ukuran butiran.

$$\text{Baras atas} = 59,924 \text{ diameter} = 0,00118 \text{ m}$$

$$\text{Batas bawah} = 44,284 \text{ diameter} = 0,0006 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} d_{50} &= d_{b_{bawah}} + \left(\frac{50 - b_{bawah}}{b_{atas} - b_{bawah}} \right) \cdot (d_{b_{atas}} - d_{b_{bawah}}) \\ &= 0,0006 + \left(\frac{50 - 44,284}{59,924 - 44,284} \right) \cdot (0,00118 - 0,0006) \\ &= 0,000812 \% \end{aligned}$$