

BAB V

HASIL ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

A. Morfologi Sungai

Perhitungan ini akan menjelaskan langkah-langkah perhitungan hidrometri dan menentukan tipe morfologi Sungai Opak. Contoh perhitungan diambil dari data pada titik 1 Jembatan Bogem.

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 dilapangan Sungai Opak di tampilkan pada Tabel 5.1 :

Tabel 5.1 Hasil pengukuran dilapangan titik 1 Jembatan Bogem.

Aliran I		Aliran II		Aliran III	
Jarak (m)	Waktu (det)	Jarak (m)	Waktu (det)	Jarak (m)	Waktu (det)
5	4,51	5	7,39	5	9,35
5	3,95	5	6,5	5	10,9
5	10,6	5	11,64	5	8,25

Sumber : Hasil Analisis Penelitian (2017)

$$\text{Kecepatan aliran, } V = \frac{L}{T}$$

dengan :

V = kecepatan aliran (m/detik)

L = jarak (meter)

T = waktu (detik)

Hasil perhitungan kecepatan aliran pada Sungai Opak pada titik 1 Jembatan Bogem :

Aliran I $V = 1,0033 \text{ m/detik}$

$$\text{Aliran II} \quad V = 0,626 \text{ m/detik}$$

$$\text{Aliran III} \quad V = 0,535 \text{ m/detik}$$

$$\text{Rata-rata aliran} = 0,7214 \text{ m/detik}$$

Hasil diatas merupakan perhitungan kecepatan aliran permukaan, bukan kecepatan penampang aliran, maka untuk mendapatkan kecepatan penampang aliran, maka 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.

$$\text{Rata-rata aliran} \quad V = 1,0033 \text{ m/detik} \times 0,90 = 0,903 \text{ m/detik}$$

b. Luas penampang basah aliran sungai

Dari pengukuran di lapangan pada Sungai Opak titik 1 jembatan Bogem diperoleh data sebagai berikut : lebar dasar saluran = 10,5 m, kedalaman aliran = 0,54 m, dan kemiringan tebing adalah 0,6.

Hasil perhitungan luas penampang aliran sungai segmen 1 jembatan Bogem

$$\text{Luas segmen I:} = 0,572 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas segmen II:} = 1,635 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas segmen III:} = 1,8315 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas segmen IV:} = 0,54 \text{ m}^2$$

$$\text{Total} = 4,578 \text{ m}^2$$

a. 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 Ratio*.

$$\text{Entrenchment Ratio} = 1,171 \quad (\text{tipe sungai B})$$

b. Menghitung *width/depth ratio (W/D ratio)*

$$\text{Width/depth ratio (W/D ratio)} = 19,44 \quad (\text{tipe sungai D})$$

c. Menghitung kemiringan sungai (*slope*)

Menghitung kemiringan dilakukan per titik tinjauan dengan jarak 10 m dan pengambilan data dilakukan dengan jarak total 100 m.

$$\text{Kemiringan sungai} = \frac{\text{elevasi}}{100} \times 100 \%$$

$$= \frac{148}{100} \times 100 \%$$

$$= 1,48\% = 0,0148 \text{ (tipe sungai DA } < 0,5\% \text{)}$$

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

Dari tabel analisis ukuran butiran pada titik 1 jembatan Bogem, Diketahui nilai D-50= 0,28 mm, jadi dapat disimpulkan bahwa material dasar permukaan yang dominan adalah material lanau berukuran kurang lebih 0,28 mm. Jadi dapat disimpulkan bahwa morfologi Sungai Opak pada tinjauan jembatan Bogem adalah sungai tipe C₆.

Tabel 5.2 Hasil perhitungan *Entrenchement Ratio* dan *W/D Ratio* Sungai Opak

No	Titik	Lebar Aliran Banjir (m)	Lebar Aliran Sungai (m)	Keda Laman Aliran (m)	<i>Entrenchement Ratio</i>		<i>W/D Ratio</i>	
					Nilai	klasifikasi	Nilai	klasifikasi
1	Jembatan bogem	6,2	10,5	0,54	1,17	A, F, G	19,44	B,C
2	Jembatan Dsn Tulung	6,2	10,4	0,47	1,01	B	22,12	D,A
3	Jembatan Sultan Dalem	3,5	10,2	0,43	1,13	A,F,G	23.25	B,C

Sumber : Hasil Analisis Penelitian (2017)

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

No	Titik	Kemiringan dasar sungai/slope			klasifikasi	Material Dominan (D50)		Tipe Sungai Morfologi
		Elevasi (m)	Panjang (m)	Nilai (%)		Ukuran (mm)	Klasifikasi	
1	Jembatan Bogem	148	100	0,147	DA		Pasir	
2	Jembatan Dsn Tulung	178	100	0,178	DA		Pasir	
3	Jembatan Sultan Dalem	186	100	0,186	DA		pasir	

Sumber : Hasil Analisis Penelitian (2017)

B. Porositas

Hasil analisis perhitungan untuk nilai porositas pada titik 1, titik 2, dan titik 3 dapat dilihat pada Tabel 5.4 sampai dengan Tabel 5.14. sedangkan contoh perhitungan pada titik 2 dan titik 3 selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 8 dan lampiran 9. Contoh pergitungan porositas material dasar sungai di titik 1 Jembatan Bogem.

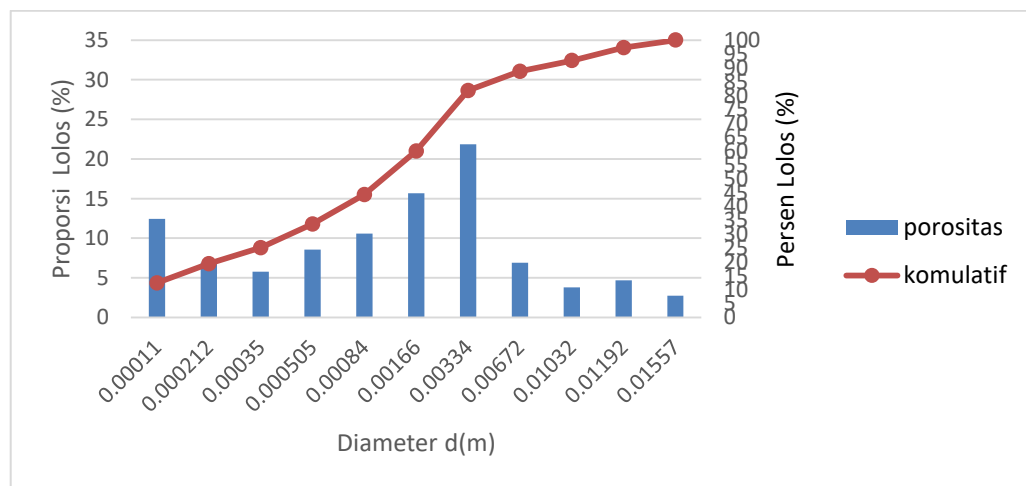
- a. Pengujian gradasi ps_j (proporsi kelas j)

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

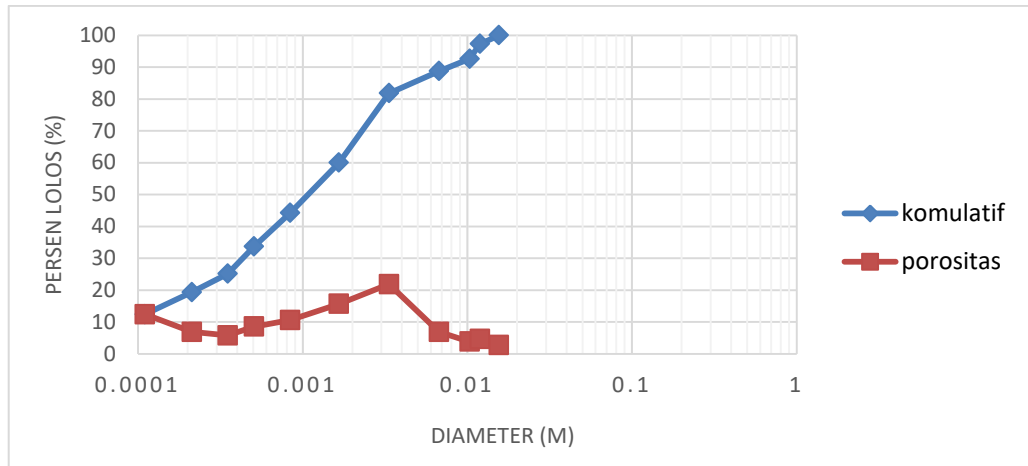
$$\begin{aligned}
 \text{Diameter butiran kelas 1} &= \sqrt{dd_1 \times dd_2} \\
 &= \sqrt{0,000075 \times 0,00015} \\
 &= 0,00011 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.4. Hasil Perhitungan Proporsi Porositas pada titik 1 Jembatan Bogem

$gs\ d(j)=\sqrt{dd(j)*dd(j+1)}$		Proporsi fs(j)	Proporsi fs(j) (%)	j-th ukuran butir $dd(j+1)=d(j)^2/dd(j)$ (m)		Kumulatif distribusi Ukuran Butiran (%)	Diameter saringan (mm)
1		2	3	4		5	6
$d(1)$	0,00011	0,1244	12,44	$dd(1)$	0,000075	12.44	0,075
$d(2)$	0,00021	0,0691	6,91	$dd(2)$	0,00015	19.35	0,15
$d(3)$	0,00023	0,05772	5,772	$dd(3)$	0,0003	25.122	0,3
$d(4)$	0,00050	0,0856	8,564	$dd(4)$	0,00043	33.686	0,425
$d(5)$	0,00084	0,1059	10,598	$dd(5)$	0,0006	44.284	0,6
$d(6)$	0,00167	0,1559	15,59	$dd(6)$	0,00118	59.974	1,18
$d(7)$	0,00334	0,2185	21,854	$dd(7)$	0,00236	81.828	2,36
$d(8)$	0,00672	0,0689	6,89	$dd(8)$	0,00475	88.718	4,75
$d(9)$	0,01030	0,0387	3,876	$dd(9)$	0,00952	92.594	9,52
$d(10)$	0,01183	0,0466	4,66	$dd(10)$	0,0112	97.254	11,2
$d(11)$	0,01545	0,0274	2,746	$dd(11)$	0,0125	100	12,5
					0,0191		



Gambar 5.2 Grafik distribusi ukuran butiran dan kolom proporsi persentase sedimen pada segmen 1 Jembatan Bogem.



Gambar 5.3 Grafik Diameter dominan (d_{50}) dan diameter puncak (d_{peak}) pada segmen 1 Jembatan Bogem.

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

$$\gamma = \frac{\log d_{max} - \log d_{50}}{\log d_{max} - \log d_{min}} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.8}$$

$$\beta = \frac{\log d_{max} - \log d_{peak}}{\log d_{max} - \log d_{min}} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3.9}$$

dengan :

γ = (*gamma*) parameter untuk menentukan jenis/tipe distribusi ukuran butir

β = (*beta*) parameter untuk menentukan jenis/tipe distribusi ukuran butir

d_{max} = diameter maksimal

d_{min} = diameter minimal

d_{50} = diameter tengah

d_{peak} = diameter puncak

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{\log d_{max} - \log d_{50}}{\log d_{max} - \log d_{min}} \\ &= \frac{\log 0,0127 - \log 0,0011}{\log 0,0127 - \log 0,000075} \\ &= 0,4766 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{\log d_{max} - \log d_{peak}}{\log d_{max} - \log d_{min}} \\ &= \frac{\log 0,0127 - \log 0,00095}{\log 0,0127 - \log 0,000075} \\ &= 0,5052 \% \end{aligned}$$

Dari nilai parameter γ dan β (*gamma* dan *beta*) dan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 3.21 maka kemudian dapat diketahui jenis distribusi ukuran butiran berdasarkan diagram hubungan antara γ dan β dengan indikasi tipe distribusi M talbot, log normal, anti Talbot. Dari diagram tersebut diketahui bahwa jenis distribusi ukuran butirnya adalah M Talbot. Tipe distribusi ukuran butir M Talbot, adalah yang sering terjadi jika material dasar sungai didominasi butiran seragam berupa material kasar dan material halus.

- c. 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 persamaan yang sama kemudian dihitung diameter median (d_{mean}) seluruh fraksi kemudian dijumlahkan seluruhnya.

$$\begin{aligned}d_{\text{mean total}} &= (\sum d_{\text{mean}}) \\ &= 0,0028 \text{ m}\end{aligned}$$

- d. Menghitung Ln (diameter fraksi 1)

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

- e. Menghitung Ln (diameter median)

$$\begin{aligned}Ln(d) &= Ln(0,0029) \\ &= -5,843 \text{ m}\end{aligned}$$

- f. Standar deviasi (σL)

$$\begin{aligned}\sigma L d_j &= Ln(d_j) - Ln(d)^2 p_{sj} \\ &= Ln(-9,1150) - Ln(-5,843))^2 \cdot 0,1244 \\ &= 1,3318 \text{ m}\end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan yang sama, dihitung standar deviasi diameter seluruh fraksi, setelah nilai standar deviasi diameter seluruh fraksi diketahui, selanjutnya nilai standar deviasi dijumlahkan. Hasil perhitungan standar deviasi pada titik 1 selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.5

Tabel 5.5. Hasil perhitungan Standar Deviasi pada segmen 1 Jembatan Bogem.

$(d \text{ mean}) =$ $d_j \times p_{sj}$		d_j	p_{sj}	d_{mean}	$\ln(d_{\text{mean}})$	$\ln(p_{sj})$	$((\ln(d) -$ $\ln(d))^2)$ $\times p_{sj}$
0,0000136	d1	0,00011	0,1244	0,0029	-9,1150	-5,843	1,3318
0,0000145	d2	0,00021	0,0691	0,0029	-8,7403	-5,843	0,58005
0,00002078	d3	0,00036	0,05772	0,0029	-8,4684	-5,843	0,3978
0,00004365	d4	0,00051	0,0856	0,0029	-7,9294	-5,843	0,3726
0,0000889	d5	0,00084	0,1059	0,0029	-7,6009	-5,843	0,3272
0,0002604	d6	0,00166	0,1569	0,0029	-7,0821	-5,843	0,2408
0,000721	d7	0,0033	0,2185	0,0029	-5,7138	-5,843	0,00364
0,000461	d8	0,0067	0,0689	0,0029	-5,0056	-5,843	0,0483
0,0004	d9	0,01032	0,0387	0,0029	-4,5736	-5,843	0,0623
0,000551	d10	0,01183	0,0466	0,0029	-4,4371	-5,843	0,0921
0,0004233	d11	0,01545	0,0274	0,0029	-4,1701	-5,843	0,0766
$\Sigma = 0,0029$						$\Sigma =$	3,4875

Sumber : Hasil Analisis Penelitian (2017)

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

$$\text{Batas atas} = 59,924 > \text{Diameter} = 0,00118 \text{ m}$$

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

$$\begin{aligned} d_{50} &= d_{\text{batas bawah}} + \left(\frac{50 - \text{batas bawah}}{\text{batas atas} - \text{batas bawah}} \right) \cdot (d_{\text{batas atas}} - d_{\text{batas bawah}}) \\ &= 0,0006 + \left(\frac{50 - 44,284}{759,974 - 44,284} \right) \cdot (0,00118 - 0,0006) \\ &= 0,000812 \text{ m.} \end{aligned}$$

- h. Nilai puncak diambil dari proporsi terbanyak pada distribusi ukuran butiran

$$d_{\text{puncak}} / d_{\text{peak}} = 0,0016 \text{ m}$$

- i. Setelah $\Sigma \sigma_L$ diketahui maka besaran nilai porositas material dasar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} n_T(16\%) &= \frac{\text{Ln}(f(dx\%))}{\text{Ln}\left(\frac{\log dx\% - \log 0,000075}{\log 0,0125 - \log 0,000075}\right)} \\ &= \frac{\text{Ln}(f(0,00018\%))}{\text{Ln}\left(\frac{\log 0,00018\% - \log 0,000075}{\log 0,0127 - \log 0,000075}\right)} \\ &= 4,8757 \% \\ &= \frac{4,8757}{16} \times 100\% = 0,3047 \% \end{aligned}$$

- j. Kemudian dicari nilai $n_T(16\%)$, $n_T(25\%)$, $n_T(50\%)$, $n_T(75\%)$, $n_T(85\%)$, dan nilai n_T rata-rata.

$$\begin{aligned} n_T &= \frac{nT(16\%) + nT(25\%) + nT(50\%) + nT(75\%) + nT(85\%)}{5} \\ &= \frac{nT(0,3047) + nT(0,2613) + nT(0,2103) + nT(0,2195) + nT(0,3115)}{5} \\ &= 0,2614 \% \end{aligned}$$

- k. Setelah nilai n_T rata-rata diketahui, selanjutnya nilai porositas dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} d_{max}/d_{min} &= 0,0127/0,000075 \\ &= 169,333 \text{ m} \end{aligned}$$

Karena nilai $d_{max}/d_{min} > 100$ maka persamaan yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned} \gamma &= 0,0127 \times n_T \text{ rata-rata} + 0,3 \\ &= 0,0127 \times 0,261 + 0,3 = 0,3033 \% \end{aligned}$$

- l. Jadi nilai porositas pada segmen jembatan Bogem adalah 0,3033 (%)

Tabel 5.6 Hasil perhitungan Porositas pada segmen 1 Jembatan Bogem.

<i>d</i> maksimal	0,0127 (mm)
<i>d</i> minimal	0,000075 (mm)
Batas atas	59,924 (%)
Batas bawah	44,284 (%)
<i>d</i> ₅₀ / <i>d</i> _g	1,67 (%)
<i>d</i> puncak/ <i>d</i> peak	0,00095 (%)
<i>Gamma</i>	0,4766 (%)
<i>beta</i>	0,5052 (%)
sigma	3,4875 (%)
porositas	0,3033 (%)

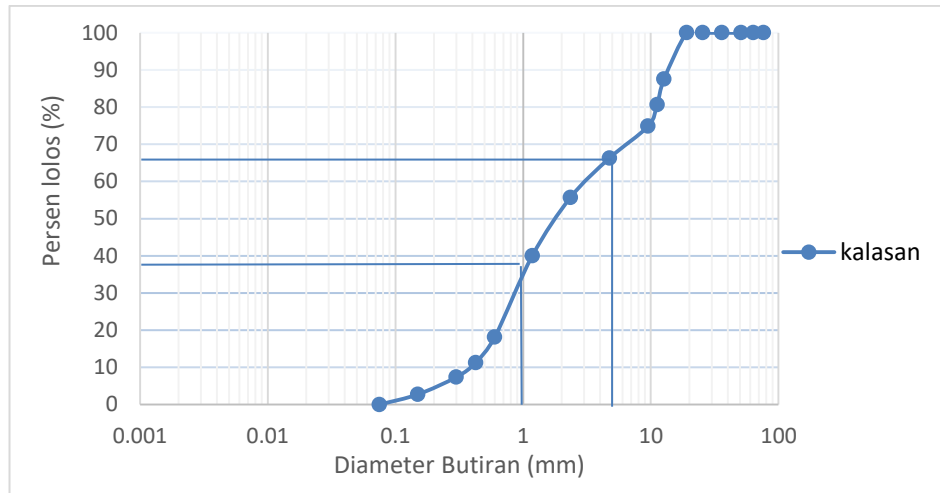
Sumber : Hasil Analisis Penelitian (2017)

C. Angkutan Sedimen

1. Contoh perhitungan angkutan sedimen pada segmen 1 Jembatan Bogem.

Diketahui :

- a. Debit aliran (*Q*) = 4,1293 m³/detik
- b. Lebar aliran sungai = 10,5 meter
- c. Kemiringan sungai = 0,0148 m
- d. Viskositas air = 1,00x10⁻⁶ m²/s
- e. Rapat massa rata-rata sedimen dasar sungai $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$
- f. Dengan $d_{35} = 0,22 \text{ mm}$ dan $d_{65} = 0,44 \text{ mm}$ dari grafik distribusi ukuran butiran.



Gambar 5.4 D_{35} dan D_{65} pada grafik distribusi ukuran butiran pada segmen 1 Jembatan Bogem.

g. Gradasi ukuran butiran hasil analisis saringan.

Tabel 5.13 Analisis saringan pada segmen 1 Jembatan Bogem.

Interval ukuran butiran (mm)	Ukuran butiran rata rata (mm)	% material
12,7 - 4,75	9,54	33,686 %
2,35 - 0,425	1,14	55,032 %
0,3 - 0,075	0,175	11,282 %

Sumber : Hasil Analisis Penelitian (2017)

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

Contoh Perhitungan Angkutan Sedimen dasar segmen 1 Jembatan Bogem.

Dimisalkan, $Rb' = 0,13$ m

a. Kecepatan gesek akibat kekasaran butiran :

$$U_0' = \sqrt{gRb'S}$$

dengan :

U_0' = kecepatan gesek akibat kekasaran butiran.

g = percepatan gravitasi.

S = slope/kemiringan dasar saluran

$$U_0' = \sqrt{9,81 \times 0,13 \times 0,0148}$$

$$= 0,1373 \text{ m/detik}$$

Tebal lapisan *sub-viscous* :

$$\delta' = \frac{11,6 v}{\mu \sigma}$$

dengan :

δ' = tebal lapisan *sub viscous*

μ = viskositas/kekentalan air.

U_0' = kecepatan gesek akibat kekasaran butiran

$$\delta' = \frac{11,6 \times 1,00 \times 10^{-6}}{0,1373}$$

$$= 0,000103 \text{ m}$$

Diketahui $K_s = d_{65} = 0,00044 \text{ m}$

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

dengan :

K_s = kekasaran butiran.

δ = tebal lapisan *sub viscous*

$$\frac{K_s}{\delta'} = \frac{0,00044}{0,0000844}$$

$$= 5,211 \text{ m}$$

Untuk nilai $K_s/\delta' = 5,211$ diperoleh nilai factor koreksi pengaruh viskositas $x = 1,1$

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

$$\begin{aligned} V &= 5,75 \cdot \psi \cdot \text{Log} \left(\frac{12,27 Rb'x}{ks} \right) \\ &= 5,75 \times 0,1373 \log \left(\frac{12,27 \times 0,13 \times 1,0}{0,00044} \right) \\ &= 2,844 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

- c. Intensitas aliran Ψ :

Dimana dari data distribusi ukuran butiran $d_{35} = 0,70 \times 0,00044$

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

Nilai $\Psi = 0,1886$ maka dari Gambar 3.15, diperoleh nilai $\frac{V}{U'} = 100$

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

$$U'' = 2,844 / 100 = 0,02214 \text{ m/detik}$$

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

$$R_b'' = \frac{U''}{g S} = \frac{0,02214 \times 0,02214}{9,81 \cdot 0,0148} = 0,00557 \text{ m.}$$

- d. Jari-Jari total diperoleh sebagai berikut :

$$\begin{aligned} R_b &= R_b' + R_b'' \\ &= 0,13 + 0,00557 = 0,13557 \text{ m} \end{aligned}$$

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

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

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

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

$$1,4234 = 10,2288$$

$$h = 0,13916$$

e. Kontrol hitungan debit.

$$\begin{aligned} Q &= A.V = (B h V') \\ &= 10,5 \cdot 0,13916 \cdot 2,214 \\ &= 4,1561 \text{ m}^3/\text{s} = 4,1293 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

f. Dengan berdasarkan nilai R_b' yang benar, selanjutnya dilakukan

hitungan angkutan sedimen menurut (Einstein, 1950), sebagai berikut:

Intensitas aliran :

$$\Psi = \frac{\gamma s - \gamma}{\gamma} \frac{d}{s.R_b} = 1,65 \frac{d}{0,0148 \cdot 0,13} = d = \frac{1,65}{0,00148 \cdot 0,13} = 857,588 \text{ d}$$

g. Kecepatan gesek akibat kekasaran butiran :

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

Tebal lapisan *sub viscous*.

$$\delta' = \frac{11,6 \cdot v}{U'} = \frac{11,6 \cdot 1,00 \times 10^{-6}}{0,1373} = 0,0000844 \text{ m}$$

$$\frac{k_s}{\delta'} = \frac{d_{65}}{\delta'} = \frac{0,00044}{0,0000844} = 5,2111 \text{ m}$$

$$\text{Nilai } \frac{k_s}{\delta'} = 5,2111$$

Dari Gambar 3.14, diperoleh nilai x (faktor koreksi pengaruh viskositas) = 1

Kekasaran dasar saluran

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

$$\frac{\Delta}{\delta'} = \frac{0,00044}{0,0000844} = 5,2111 > 1,8 \rightarrow x = 0,77$$

$$= 0,77 \cdot 0,00044$$

$$= 0,000338 \text{ m}$$

$$\left[\frac{\beta}{\beta x} \right]^2 = \left[\frac{\log(10,6)}{\log(10,6 \cdot x/\Delta)} \right]^2 = \left[\frac{\log(10,6)}{\log(10,6 \cdot 0,000338/0,00044)} \right]^2$$

$$= 1,157 \text{ m}$$

D_1 Untuk fraksi ukuran butiran, $d_1 = 9,54 \text{ mm} = 0,00954 \text{ m}$.

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

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

Untuk $\frac{d_{65}}{\delta'} = 5,2111$ dari Gambar 3.17, diperoleh nilai koreksi gaya angkat $Y = 0,5$

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

$$\begin{aligned} \Psi_{,i}' &= \xi_1 \cdot Y_1 \cdot \left[\frac{\rho_s}{\rho X} \right]^2 \cdot \Psi_{,i}' \\ &= 1 \cdot 0,5 \cdot 1,157 \cdot 857,588 \cdot d_1 \\ &= 1 \cdot 0,5 \cdot 1,157 \cdot 857,588 \cdot 0,00954 \\ &= 4,7341 \text{ m} \end{aligned}$$

- i. Dari gambar 3.28 untuk $\Psi_{,i}' = 4,7341$, karena jika nilai θ berada di luar kurva maka dianggap nilai $\theta = 0$, jadi diperoleh nilai $\theta = 0$. Selanjutnya besaran angkutan sedimen suspensi untuk fraksi butiran d_1 adalah :

$$\begin{aligned} (i_b q_b) &= i_b \cdot \theta \cdot \gamma_s \cdot (g \cdot d_1)^{2/3} \cdot \left(\frac{Y_s - Y}{Y} \right)^{1/2} \\ &= 0,033 \cdot 1 \cdot 2650/9,81 \cdot (9,81 \cdot 0,00954)^{3/2} \cdot (1,65)^{1/2} \\ &= 0,0000335 \text{ kg/ms.} \end{aligned}$$

Untuk fraksi ukuran butiran , $d_2 = 1,14 \text{ mm} = 0,00114 \text{ m}$

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

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

Untuk $\frac{d_{65}}{\delta'} = 4,263$ dari Gambar 3.17, diperoleh nilai koreksi gaya angkat $Y = 0,5$

Intensitas aliran yang telah dikoreksi

$$\begin{aligned} \Psi_{,i}' &= \xi_1 \cdot Y_1 \cdot \left[\frac{\rho_s}{\rho X} \right]^2 \cdot \Psi_{,i}' \\ &= 1 \cdot 0,5 \cdot 1,157 \cdot 857,588 \cdot d_1 \\ &= 1,5 \cdot 0,5 \cdot 1,157 \cdot 857,588 \cdot 0,00114 \end{aligned}$$

$$= 0,5655 \text{ m}^3/\text{s}$$

Untuk $\Psi_{,i}' = 0,5655$ dari Gambar 3.18, diperoleh nilai $\theta = 10$ selanjutnya besar angkutan sedimen untuk fraksi butiran d_2 .

$$\begin{aligned} (i_b q_b)_1 &= i_b \cdot \theta \cdot \gamma_s \cdot (g \cdot d_1)^{2/3} \cdot \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}\right)^{1/2} \\ &= 0,055 \cdot 10 \cdot 2650/9,81 \cdot (9,81 \cdot 0,00114)^{3/2} \cdot (1,56)^{1/2} \\ &= 0,000225 \text{ Kg/ms} \end{aligned}$$

Untuk fraksi ukuran butiran, $d_3 = 0,175 \text{ mm} = 0,000175 \text{ m}$

$$\frac{d_3}{X} = \frac{0,000175}{0,000338} = 0,531 \text{ m}$$

Untuk $\frac{d_{35}}{X} = 0,531$ dari Gambar 3.16, diperoleh nilai *hiding factor*

$$\mathcal{E} = 3$$

Untuk $\frac{d_{35}}{X} = 5,2111$ dari Gambar 3.17, diperoleh nilai koreksi gaya angkat $Y = 0,5$

Intensitas aliran yang telah dikoreksi

$$\begin{aligned} \Psi_{,i}' &= \xi_1 \cdot Y_1 \cdot \left[\frac{R}{R_x}\right]^2 \cdot \Psi_{,i}' \\ &= 100 \cdot 0,5 \cdot 1,157 \cdot 857,588 \cdot d_3 \\ &= 100 \cdot 0,5 \cdot 1,157 \cdot 857,588 \cdot 0,000175 \\ &= 0,2679 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Untuk $\Psi_{,i}' = 0,2679$ dari Gambar 3.18, karena jika nilai θ berada di luar kurva maka dianggap nilai $\theta = 10$, maka diperoleh nilai $\theta = 10$ Selanjutnya besar angkutan sedimen suspensi untuk fraksi butira d_3 .

$$\begin{aligned} (i_b q_b) &= i_b \cdot \theta \cdot \gamma_s \cdot (g \cdot d_1)^{2/3} \cdot \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}\right)^{1/2} \\ &= 0,0112 \cdot 10 \cdot 2650/9,81 \cdot (9,81 \cdot 0,000175)^{3/2} \cdot (1,65)^{1/2} \\ &= 0,0000029 \text{ Kg/ms} \end{aligned}$$

Tabel 4.5 Nilai selengkapnya untuk menghitung angkut sedimen segmen 1
Jembatan Bogem

No	D(mm)	I _b (%)	R _b	Ψ, '	d/x	ξ	Y	Ψ _i , '	Θ.i	(i _B q _B) (Kg/ms)
1	9,54	0,336	0,087	8,183	12,22	1	0,5	4,734	1	3,34x10 ⁻⁴
2	1,14	0,551	0,087	0,977	3,36	1	0,5	0,565	10	2,25x10 ⁻⁴
3	0,175	0,112	0,087	0,154	0,53	3	0,5	0,267	10	2,9x10 ⁻⁶
Σ										5,63x10 ⁻⁴

Jadi besar angkutan sedimen:

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

2. Hasil hitungan angkutan sedimen segmen 2 Jembatan Dusun Tulung

1. Analisis perhitungan morfologi

a. Luas penampang basah aliran sungai

Menentukan nilai m, nilai m adalah kemiringan talud.

Diperoleh data sebagai berikut:

Kedalaman aliran kiri = 0,43 m

Kedalaman aliran bagian tengah = 0,56 m

Kedalaman aliran bagian kanan = 0,42 m

Lebar dasar saluran = 10,4 m

b. Menghitung *Entrenchment Ratio*.

$$\text{Entrenchment Ratio} = \frac{\text{lebar aliran banjir (Wfpa)}}{\text{lebar aliran sungai (Wbkt)}}$$

$$= \frac{10,68}{10,4}$$

$$= 1,0192 \quad (\text{tipe sungai B})$$

c. Menghitung *width/depth ratio (W/D ratio)*

$$\text{Width/depth ratio (W/D ratio)} = \frac{\text{lebar aliran sungai (Wbkf)}}{\text{kedalaman aliran (Dbkf)}}$$

$$= \frac{10,4}{0,47}$$

$$= 22,127 \quad (\text{tipe sungai D})$$

d. Menghitung kemiringan sungai (*slope*)

Menghitung kemiringan dilakukan per titik tinjauan dengan jarak 10 m dan pengambilan data dilakukan dengan jarak total 100 m

$$\text{Kemiringan sungai} = \frac{\text{elevasi}}{100} \times 100 \%$$

$$= \frac{178}{100} \times 100 \%$$

$$= 1,78\% = 0,0178 \quad (\text{tipe sungai DA} < 0,5\%)$$

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

Dari tabel analisis ukuran butiran pada segmen jembatan Dusun T, Diketahui nilai D-50= 0,53 mm, jadi dapat disimpulkan bahwa material dasar permukaan yang dominan adalah material lanau berukuran kurang lebih 0,53 mm. Jadi dapat disimpulkan bahwa morfologi Sungai Opak pada tinjauan jembatan dusun tulung adalah sungai tipe Aa .

Diketahui :

$$\text{Debit aliran } (Q) = 3,6276 \text{ m}^3/\text{detik}$$

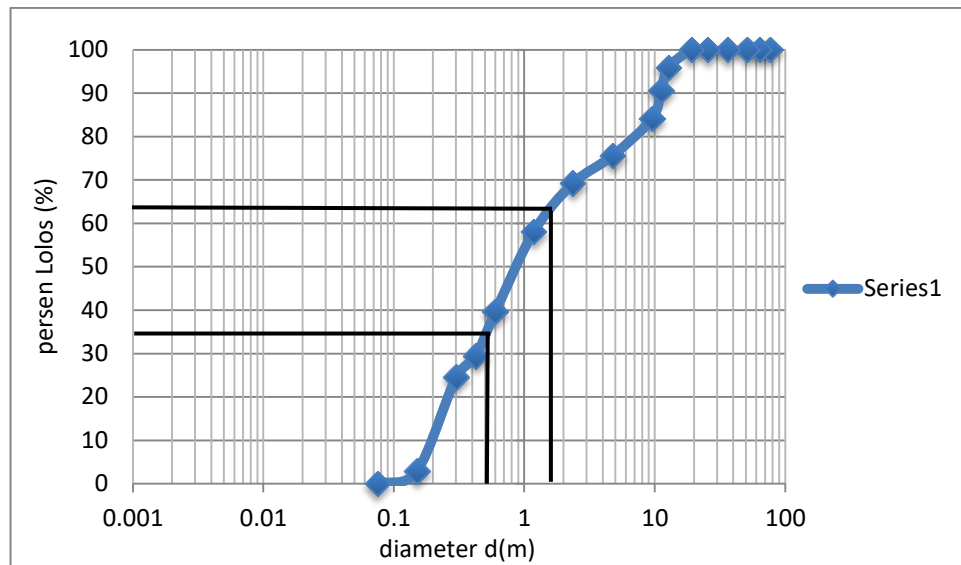
$$\text{Lebar aliran sungai} = 10,4 \text{ meter}$$

$$\text{Kemiringan sungai} = 0,0178 \text{ m}$$

$$\text{Viskositas air} = 1,00 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

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

Dengan $d_{35} = 0,53 \text{ mm}$ dan $d_{65} = 1,67 \text{ mm}$ dari grafik distribusi ukuran butiran.



Gambar 5.5 D_{35} dan D_{65} pada grafik distribusi ukuran butiran pada segmen 2 Dusun Tulung.

- a. Gradasi ukuran butiran hasil analisis saringan.

Tabel 5.13 Analisis saringan pada segmen 2 Jembatan Dusun Tulung.

Interval ukuran butiran (mm)	Ukuran butiran rata rata (mm)	% material
12,7 - 4,75	9,54	24,412 %
2,35 - 0,425	1,14	46,164 %
0,3 - 0,075	0,175	29,32 %

Sumber : Hasil Analisis Penelitian (2017)

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

D. Porositas

Hasil analisis perhitungan untuk nilai porositas pada segmen 1, segmen 2, dan segmen 3 dapat dilihat pada Tabel 5.4 sampai dengan Tabel 5.14. sedangkan contoh perhitungan pada segmen 1 dan segmen 2 selengkapnya dapat dilihat pada

Lampiran 8 dan lampiran 9. Contoh perhitungan porositas material dasar sungai di segmen 2, Jembatan Dusun Tulung.

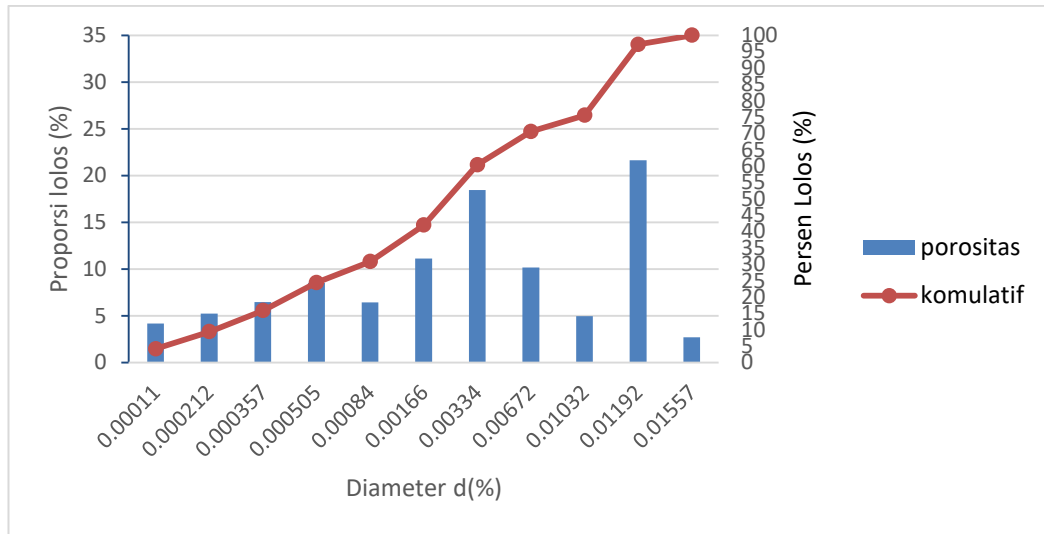
a. Pengujian gradasi ps_j (proporsi kelas j)

$$\begin{aligned} P_{sj} \text{ (proporsi) kelas 1} &= \frac{\% \text{ kumulatif}}{100} \\ &= \frac{4,18}{100} \\ &= 0,0418 \end{aligned}$$

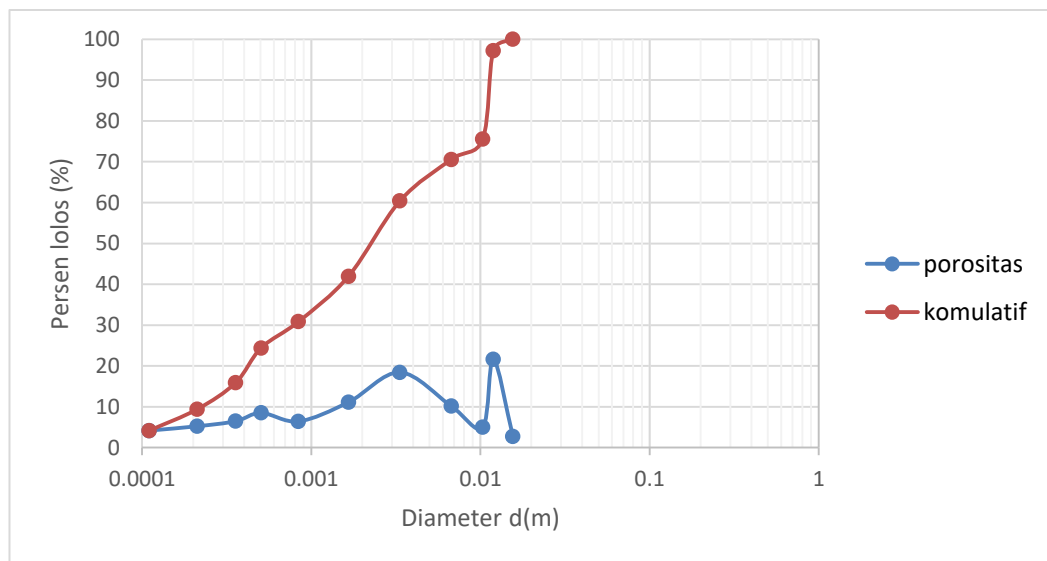
$$\begin{aligned} \text{Diameter butiran kelas 1} &= \sqrt{dd_1 \times dd_2} \\ &= \sqrt{0,000075 \times 0,00015} \\ &= 0,00011 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabel 5.4. Hasil Perhitungan Porositas pada segmen 2 Jembatan Dusun Tulung

$gs d(j) = \sqrt{(dd(j) \cdot dd(j+1))}$		Proporsi $fs(j)$	Proporsi $fs(j)$ (%)	j-th ukuran butir $dd(j+1) = d(j)^2 / dd(j)$ (m)		Kumulatif distribusi Ukuran Butiran (%)	Diameter saringan (mm)
1		2	3	4		5	6
$d(1)$	0,00011	0,0418	4,18	$dd(1)$	0,000075	4,18	0,075
$d(2)$	0,00021	0,05244	5,244	$dd(2)$	0,00015	9,424	0,15
$d(3)$	0,00036	0,0647	6,47	$dd(3)$	0,0003	15,894	0,3
$d(4)$	0,00051	0,08518	8,518	$dd(4)$	0,00043	24,412	0,425
$d(5)$	0,00084	0,06436	6,436	$dd(5)$	0,0006	30,848	0,6
$d(6)$	0,00167	0,1112	11,12	$dd(6)$	0,00118	41,968	1,18
$d(7)$	0,00334	0,1844	18,44	$dd(7)$	0,00236	60,408	2,36
$d(8)$	0,00672	0,1016	10,168	$dd(8)$	0,00475	70,576	4,75
$d(9)$	0,01030	0,04982	4,982	$dd(9)$	0,00952	75,558	9,52
$d(10)$	0,01183	0,2162	21,624	$dd(10)$	0,0112	97,182	11,2
$d(11)$	0,01545	0,02714	2,714	$dd(11)$	0,0125	100	12,5
					0,0191		



Gambar 5.6 Grafik distribusi ukuran butiran dan kolom proporsi persentase sedimen pada segmen 2 Dusun Tulung.



Gambar 5.7 Grafik Diameter dominan (d_{50}) dan diameter puncak (d_{peak}) pada segmen 2 Dusun Tulung.

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

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{\log d_{max} - \log d_{50}}{\log d_{max} - \log d_{min}} \\ &= \frac{\log 0,0127 - \log 0,0024}{\log 0,0127 - \log 0,000075} \\ &= 0,3246 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{\log d_{max} - \log d_{peak}}{\log d_{max} - \log d_{min}} \\ &= \frac{\log 0,0127 - \log 0,0021}{\log 0,0127 - \log 0,000075} \\ &= 0,3506 \%\end{aligned}$$

- c. Diameter median (d_{mean}) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$\begin{aligned}d_{mean} &= (d_j \times p_{sj}) \\ &= (0,00011 \times 0,0418) \\ &= 0,00001368 \text{ m}\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}d_{mean \text{ total}} &= (\sum d_{mean}) \\ &= 0,0051 \text{ m}\end{aligned}$$

- d. Menghitung Ln (diameter fraksi 1)

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

- e. Menghitung Ln (diameter median)

$$\begin{aligned}Ln(d) &= Ln(0,0051) \\ &= -5,2785 \text{ m}\end{aligned}$$

- f. Standar deviasi (σL)

$$\begin{aligned}\sigma L d_j &= Ln(d_j) - Ln(d)^2 p_{sj} \\ &= Ln(-9,1150) - Ln(-5,2785))^2 \cdot 0,0418 \\ &= 0,6154 \text{ m}\end{aligned}$$

Hasil perhitungan standar deviasi pada segmen 2 selengkapnya dapat dilihat pada

Tabel 5.5

$(d \text{ mean}) = d_j \times p_{sj}$		d_j	p_{sj}	d_{mean}	$\ln(d_{mean})$	$\ln(p_{sj})$	$((\ln(d) - \ln(d))^2) \times p_{sj}$
0,0000046	d_1	0,00011	0,0418	0,0051	-9,1150	-5,2785	0,6154
0,0000011	d_2	0,00021	0,05244	0,0051	-8,7403	-5,2785	0,6286
0,0000233	d_3	0,00036	0,0647	0,0051	-8,4684	-5,2785	0,6585
0,00004344	d_4	0,00051	0,08518	0,0051	-7,9294	-5,2785	0,5982
0,000054	d_5	0,00084	0,06436	0,0051	-7,6009	-5,2785	0,3469

Tabel 5.5 Lanjutan

0,0001845	d6	0,00166	0,1112	0,0051	-7,0821	-5,2785	0,3619
0,0006085	d7	0,0033	0,1844	0,0051	-5,7138	-5,2785	0,03502
0,0006827	d8	0,0067	0,1016	0,0051	-5,0056	-5,2785	0,00753
0,000514	d9	0,01032	0,04982	0,0051	-4,5736	-5,2785	0,02472
0,00257	d10	0,01183	0,2162	0,0051	-4,4371	-5,2785	0,7071
0,0004225	d11	0,01545	0,02714	0,0051	-4,1701	-5,2785	0,0333
$\Sigma = 0,0051$						$\Sigma =$	4,0171

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

$$\text{Batas atas} = 60,408 > \text{Diameter} = 0,00236 \text{ m}$$

$$\text{Batas bawah} = 41,968 > \text{Diameter} = 0,00118 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} d_{50} &= d_{\text{batas bawah}} + \left(\frac{50 - \text{batas bawah}}{\text{batas atas} - \text{batas bawah}} \right) \cdot (d_{\text{batas atas}} - d_{\text{batas bawah}}) \\ &= 0,00118 + \left(\frac{50 - 41,968}{60,408 - 41,968} \right) \cdot (0,00236 - 0,00118) \\ &= 0,00127 \text{ m.} \end{aligned}$$

- h. Nilai puncak diambil dari proporsi terbanyak pada distribusi ukuran butiran

$$d_{\text{puncak}} / d_{\text{peak}} = 0,0021 \%$$

- i. Setelah $\Sigma \sigma_L$ diketahui maka besaran nilai porositas material dasar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} n_T(16\%) &= \frac{\text{Ln}(f(dx\%))}{\text{Ln}\left(\frac{\log dx\% - \log 0,000075}{\log 0,0125 - \log 0,000075}\right)} \\ &= \frac{\text{Ln}(f(0,00038\%))}{\text{Ln}\left(\frac{\log 0,00388\% - \log 0,000075}{\log 0,0127 - \log 0,000075}\right)} \\ &= 6,839 \% \\ &= \frac{6,839}{16} \times 100\% \\ &= 0,4274 \% \end{aligned}$$

- j. Kemudian dicari nilai n_T (16%), n_T (25%), n_T (50%), n_T (75%), n_T (85%), dan nilai n_T rata-rata.

$$\begin{aligned} n_T &= \frac{nT(16\%)+nT(25\%)+nT(50\%)+nT(75\%)+nT(85\%)}{5} \\ &= \frac{nT(0,4,274)+nT(0,3103)+nT(0,3073)+nT(0,1287)+nT(2,474)}{5} \\ &= 0,9612 \% \end{aligned}$$

- k. Setelah nilai n_T rata-rata diketahui, selanjutnya nilai porositas dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} d_{max}/d_{min} &= 0,0127/0,000075 \\ &= 169,333 \text{ m} \end{aligned}$$

Karena nilai $d_{max}/d_{min} > 100$ maka persamaan yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned} \gamma &= 0,0127 \times n_T \text{ rata-rata} + 0,3 \\ &= 0,0127 \times 0,9612 + 0,3 \\ &= 0,3122 \text{ m} \end{aligned}$$

- m. Jadi nilai porositas pada segmen 2 Jembatan Dsn Tulung adalah 0,3122 %

Tabel 5.6 Hasil perhitungan Porositas pada segmen 2 jembatan Dusun Tulung.

d maksimal	0,0127 (mm)
d minimal	0,000075 (mm)
Batas atas	60,408 (%)
Batas bawah	41,968 (%)
d_{50}/d_g	0,0024 (%)
d puncak/ d peak	0,0021 (%)
Γ	0,3246 (%)
β	0,3506 (%)
σ	4,0171 (%)
porositas	0,3122 (%)

Sumber : Hasil Analisis Penelitian (2017)

D. Angkutan Sedimen

1. Hasil dari angkutan sedimen pada segmen 2 Jembatan Dusun Tulung.

Diketahui :

- l. Debit aliran (Q) = 3,6276 m³/detik
- m. Lebar aliran sungai = 10,4 meter
- n. Kemiringan sungai = 0,0178
- o. Viskositas air = 1,00x10⁻⁶ m²/s
- p. Rapat massa rata-rata sedimen dasar sungai $\rho_s = 2650$ kg/m³
- q. Dengan $d_{35} = 0,53$ mm dan $d_{65} = 1,67$ mm dari grafik distribusi ukuran butiran.
- r. Gradasi ukuran butiran hasil analisis saringan.

Tabel 4.5 Nilai selengkapnya untuk menghitung angkut sedimen

No	D(mm)	I _b (%)	R _b '	Ψ, '	d/x	Ξ	Y	Ψ _i '	Θ.i	(i _B q _B) (Kg/ms)
1	9,54	0,244	0,11	8,041	7,42	1	0,5	5,087	1	1,69x10 ³
2	1,14	0,461	0,11	0,96	0,88	1	0,5	0,607	0	0
3	0,175	0,293	0,11	0,151	0,14	1	1	0,19	0	0
Σ										1,69x10 ⁻⁴

Jadi besar angkutan sedimen:

$$\begin{aligned}
 Q_B &= (\sum i_b q_b) \times 60 \text{detik} \times 60 \text{menit} \times 24 \text{jam} \times B \\
 &= 1,69 \times 10^{-3} \times 60 \times 60 \times 24 \times 10,5 \\
 &= 1525,913 \text{ kg/hari} = 1,525 \text{ Ton / hari.}
 \end{aligned}$$

3. Hasil hitungan angkutan sedimen Jembatan Sultan Dalem

1. Analisis perhitungan morfologi

a. Luas penampang basah aliran sungai

Menentukan nilai m, nilai m adalah kemiringan talud.

Diperoleh data sebagai berikut:

Kedalaman aliran kiri = 0,52 m

Kedalaman aliran bagian tengah = 0,55 m

Kedalaman aliran bagian kanan = 0,53 m

Lebar saluran = 10 m

Lebar aliran banjir = 8,5 m

$$\begin{aligned} \text{Entrenchment Ratio} &= \frac{\text{lebar aliran banjir (Wfpa)}}{\text{lebar aliran sungai (Wbkt)}} \\ &= \frac{8,5}{10} \\ &= 0,85 \quad (\text{tipe sungai B}) \end{aligned}$$

b. Menghitung *width/depth ratio (W/D ratio)*

$$\begin{aligned} \text{Width/depth ratio (W/D ratio)} &= \frac{\text{lebar aliran sungai (Wbkf)}}{\text{kedalaman aliran (Dbkf)}} \\ &= \frac{10}{0,53} \\ &= 18,86 \quad (\text{tipe sungai D}) \end{aligned}$$

c. Menghitung kemiringan sungai (*slope*)

Menghitung kemiringan dilakukan per titik tinjauan dengan jarak 10 m dan pengambilan data dilakukan dengan jarak total 100m

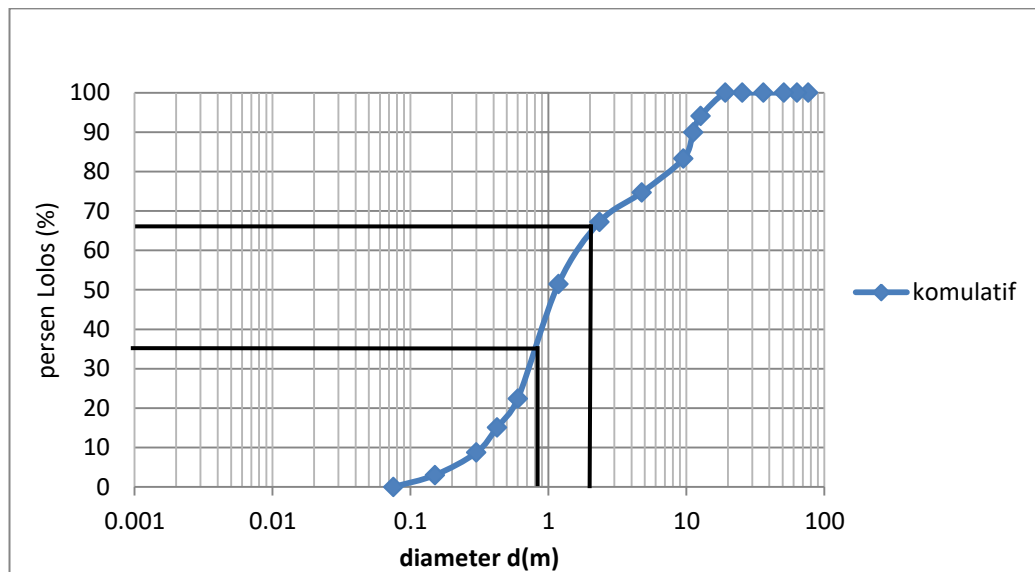
$$\begin{aligned} \text{Kemiringan sungai} &= \frac{\text{elevasi}}{100} \times 100 \% \\ &= \frac{291}{100} \times 100 \% \\ &= 2,91\% = 0,0291 \quad (\text{tipe sungai DA} < 0,5\%) \end{aligned}$$

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

Dari tabel analisis ukuran butiran pada segmen 3 jembatan Sultan Dalem, Diketahui nilai D-50= 0,53 mm, jadi dapat disimpulkan bahwa material dasar permukaan yang dominan adalah material lanau berukuran kurang lebih 0,53 mm. Jadi dapat disimpulkan bahwa morfologi Sungai Opak pada tinjauan jembatan Sultan Dalem adalah sungai tipe C₆.

Diketahui :

- a. Debit aliran (Q) = 2,225 m³/detik
- b. Lebar aliran sungai = 10 meter
- c. Kemiringan sungai = 0,0291
- d. Viskositas air = 1,00x10⁻⁶ m²/s
- e. Rapat massa rata-rata sedimen dasar sungai $\rho \int_s = 2650$ kg/m³
- f. Dengan $d_{35} = 0,29$ mm dan $d_{65} = 0,22$ mm dari grafik distribusi ukuran butiran.



Gambar 5.8 D_{35} dan D_{65} pada grafik distribusi ukuran butiran pada segmen 3 Sultan Dalem.

- g. Gradasi ukuran butiran hasil analisis saringan.

Tabel 5.13 Analisis saringan pada segmen 3 jembatan Sultan Dalem

Interval ukuran butiran (mm)	Ukuran butiran rata rata (mm)	% material
12,7 - 4,75	9,54	26,148 %
2,35 - 0,425	1,14	59,284 %
0,3 - 0,075	0,175	13,922 %

Sumber : Hasil Analisis Penelitian (2017)

Tabel 4.5 Nilai untuk menghitung angkut sedimen segmen 3 Sultan Dalem

No	D(mm)	I _b (%)	R _b '	Ψ _i '	d/x	ξ	Y	Ψ _i '	Θ.i	(i _B Q _B) (Kg/ms)
1	9,54	0,262	0,094	5,755	56,32	1	0,5	3,329	1	2,61x10 ⁻⁴
2	1,14	0,592	0,094	0,687	6,729	1	0,5	0,397	1	2,43x10 ⁻³
3	0,175	0,134	0,094	0,108	1,062	1	05	0,062	1	3,45x10 ⁻⁹
Σ										2,85x10 ⁻³

Jadi besar angkutan sedimen:

$$\begin{aligned}
 Q_B &= (\sum i_b q_b) \times 60 \text{ detik} \times 60 \text{ menit} \times 24 \text{ jam} \times B \\
 &= 2,85 \times 10^{-3} \times 60 \times 60 \times 24 \times 10,5 \\
 &= 2083,57 \text{ kg/},104 \text{ hari} = 2,0835 \text{ Ton / hari.}
 \end{aligned}$$

A. Porositas

Hasil analisis perhitungan untuk nilai porositas pada segmen 1, segmen 2, dan segmen 3 dapat dilihat pada Tabel 5.4 sampai dengan Tabel 5.14. sedangkan contoh perhitungan pada segmen 2 dan segmen 3 selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 8 dan lampiran 9. Contoh perhitungan porositas material dasar sungai di segmen 3, Jembatan Sultan Dalem.

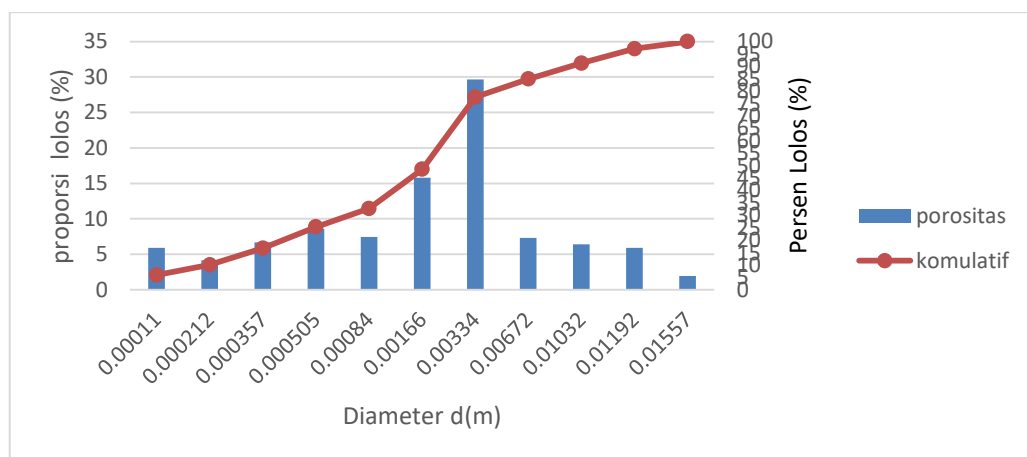
a. Pengujian gradasi ps_j (proporsi kelas j)

$$\begin{aligned}
 P_{sj} \text{ (proporsi) kelas 1} &= \frac{\% \text{ kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{5,916}{100} \\
 &= 0,05916 \%
 \end{aligned}$$

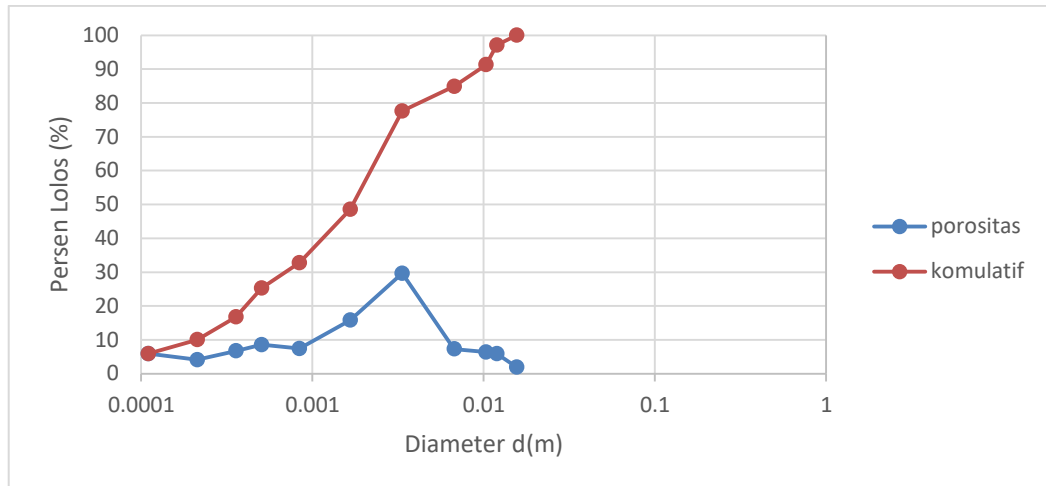
$$\begin{aligned}
 \text{Diameter butiran kelas 1} &= \sqrt{dd_1 \times dd_2} \\
 &= \sqrt{0,000075 \times 0,00015} \\
 &= 0,00011 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.4. Hasil Perhitungan Proporsi Porositas pada segmen 3 Jembatan Sultan Dalem

$gs d(j)=\sqrt{dd(j)*dd(j+1)}$		Proporsi fs(j)	Proporsi fs(j) (%)	j-th ukuran butir $dd(j+1)=d(j)^2/dd(j)$ (m)		Kumulatif distribusi Ukuran Butiran (%)	Diameter saringan (mm)
1		2	3	4		5	6
$d(1)$	0,00011	0,05916	5,916	$dd(1)$	0,000075	5,916	0,075
$d(2)$	0,00021	0,04132	4,132	$dd(2)$	0,00015	10	0,15
$d(3)$	0,00036	0,06698	6,698	$dd(3)$	0,0003	17	0,3
$d(4)$	0,00051	0,08574	8,574	$dd(4)$	0,00043	25	0,425
$d(5)$	0,00084	0,07438	7,438	$dd(5)$	0,0006	33	0,6
$d(6)$	0,00167	0,1579	15,79	$dd(6)$	0,00118	49	1,18
$d(7)$	0,00334	0,2964	29,64	$dd(7)$	0,00236	78	2,36
$d(8)$	0,00672	0,07294	7,294	$dd(8)$	0,00475	85	4,75
$d(9)$	0,01030	0,0639	6,39	$dd(9)$	0,00952	91	9,52
$d(10)$	0,01183	0,05922	5,922	$dd(10)$	0,0112	97	11,2
$d(11)$	0,01545	0,01938	1,938	$dd(11)$	0,0125	100	12,5
					0,0191		



Gambar 5.9 Grafik distribusi ukuran butiran dan kolom proporsi persentase sedimen pada segmen 3 Jembatan Sultan Dalem.



Gambar 5.10 Grafik Diameter dominan (d_{50}) dan diameter puncak (d_{peak}) pada segmen 3 Jembatan Sultan Dalem.

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

$$\begin{aligned}\gamma &= \frac{\log d_{max} - \log d_{50}}{\log d_{max} - \log d_{min}} \\ &= \frac{\log 0,0127 - \log 0,0017}{\log 0,0127 - \log 0,000075} \\ &= 0,3918 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{\log d_{max} - \log d_{peak}}{\log d_{max} - \log d_{min}} \\ &= \frac{\log 0,0127 - \log 0,0015}{\log 0,0127 - \log 0,000075} \\ &= 0,4162 \%\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}d_{mean} &= (d_j \times ps_j) \\ &= (0,00011 \times 0,0591) \\ &= 0,0000065 \text{ m}\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}d_{mean \text{ total}} &= (\sum d_{mean}) \\ &= 0,0038 \%\end{aligned}$$

d. Menghitung Ln (diameter fraksi 1)

$$\begin{aligned} \ln(d_j) &= \ln(0,00011) \\ &= -9,1150 \end{aligned}$$

e. Menghitung Ln (diameter median)

$$\begin{aligned} \ln(d) &= \ln(0,0038) \\ &= -5,572 \text{ m} \end{aligned}$$

f. Standar deviasi (σL)

$$\begin{aligned} \sigma L d_j &= \ln(d_j) - \ln(d)^2 p_{sj} \\ &= \ln(-9,1150) - \ln(-5,572))^2 \cdot 0,0418 \\ &= 0,6154 \text{ m} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan standar deviasi pada segmen 3 selengkapnya dapat dilihat pada

Tabel 5.5

$(d \text{ mean}) =$ $D_j \times p_{sj}$		d_j	p_{sj}	d_{mean}	$\ln(d_{\text{mean}})$	$\ln(p_{sj})$	$((\ln(d) - \ln(d))^2) \times p_{sj}$
0,0000065	d1	0,00011	0,05916	0,0038	-9,1150	-5,572	0,7426
0,00000867	d2	0,00021	0,04132	0,0038	-8,7403	-5,572	0,4147
0,0000241	d3	0,00036	0,06698	0,0038	-8,4684	-5,572	0,5612
0,0000437	d4	0,00051	0,08574	0,0038	-7,9294	-5,572	0,4762
0,0000624	d5	0,00084	0,07438	0,0038	-7,6009	-5,572	0,3058
0,000262	d6	0,00166	0,1579	0,0038	-7,0821	-5,572	0,3601
0,000978	d7	0,0033	0,2964	0,0038	-5,7138	-5,572	0,00595
0,000488	d8	0,0067	0,07294	0,0038	-5,0056	-5,572	0,0233
0,000659	d9	0,01032	0,0639	0,0038	-4,5736	-5,572	0,0636
0,0007005	d10	0,01183	0,05922	0,0038	-4,4371	-5,572	0,0762
0,000299	d11	0,01545	0,01938	0,0038	-4,1701	-5,572	0,038
$\Sigma = 0,0038$						$\Sigma =$	3,0676

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

$$\text{Batas atas} = 78 > \text{Diameter} = 0,00236 \text{ m}$$

Batas bawah = 49 > Diameter = 0,00118 m

$$\begin{aligned} d_{50} &= d_{\text{batas bawah}} + \left(\frac{50 - \text{batas bawah}}{\text{batas atas} - \text{batas bawah}} \right) \cdot (d_{\text{batas atas}} - d_{\text{batas bawah}}) \\ &= 0,00118 + \left(\frac{50 - 49}{78 - 49} \right) \cdot (0,00236 - 0,00118) \\ &= 0,00122 \text{ m.} \end{aligned}$$

h. Nilai puncak diambil dari proporsi terbanyak pada distribusi ukuran butiran

$$d_{\text{puncak}} / d_{\text{peak}} = 0,0015 \%$$

i. Setelah $\Sigma \sigma_L$ diketahui maka besaran nilai porositas material dasar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} n_T(16\%) &= \frac{\text{Ln}(f(dx\%))}{\text{Ln}\left(\frac{\log dx\% - \log 0,000075}{\log 0,0125 - \log 0,000075}\right)} \\ &= \frac{\text{Ln}(f(0,00033\%))}{\text{Ln}\left(\frac{\log 0,00033\% - \log 0,000075}{\log 0,0127 - \log 0,000075}\right)} \\ &= 6,4526 \% \\ &= \frac{6,4526}{16} \times 100\% = 0,4032 \% \end{aligned}$$

k. Kemudian dicari nilai n_T (16%), n_T (25%), n_T (50%), n_T (75%), n_T (85%), dan nilai n_T rata-rata.

$$\begin{aligned} n_T &= \frac{n_T(16\%) + n_T(25\%) + n_T(50\%) + n_T(75\%) + n_T(85\%)}{5} \\ &= \frac{n_T(0,4032) + n_T(0,3055) + n_T(0,2564) + n_T(0,2356) + n_T(0,4329)}{5} \\ &= 0,3267 \% \end{aligned}$$

s. Setelah nilai n_T rata-rata diketahui, selanjutnya nilai porositas dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} d_{\text{max}}/d_{\text{min}} &= 0,0127/0,000075 \\ &= 169,333 \text{ m} \end{aligned}$$

Karena nilai $d_{\text{max}}/d_{\text{min}} > 100$ maka persamaan yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned}
 \gamma &= 0,0127 \times n_T \text{ rata-rata} + 0,3 \\
 &= 0,0127 \times 0,3267 + 0,3 \\
 &= 0,3041 \%
 \end{aligned}$$

n. Jadi nilai porositas pada titik jembatan Sultan Dalem adalah 0,3041 (%)

Tabel 5.6 Hasil perhitungan Porositas pada segmen 3 jembatan Sultan Dalem.

<i>d</i> maksimal	0,0127 (mm)
<i>d</i> minimal	0,000075 (mm)
Batas atas	78 (%)
Batas bawah	49 (%)
<i>d</i> 50/ <i>d</i> _g	0,00017 (%)
<i>d</i> puncak/ <i>d</i> peak	0,0015 (%)
<i>Gamma</i>	0,3918 (%)
<i>beta</i>	0,4162 (%)
sigma	3,0676 (%)
porositas	0,3041 (%)

Sumber : Hasil Analisis Penelitian (2017)