

ANALISIS LAJU SEDIMENTASI PADA BENDUNGAN BAGONG KABUPATEN TRENGGALEK

Dyah Nabilah¹, Faradlillah Saves²

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Jl.Semolowaru no.45 Surabaya
Email: dyahnabilah@gmail.com

² Jurusan Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Jl.Semolowaru no.45 Surabaya
Email: farasaves@untag-sby.ac.id

ABSTRACT

Bagong Dam is one of the dams in Trenggalek Regency where the construction of this dam is an effort to deal with floods and drought in Trenggalek Regency. The dam is located in Pengkok hamlet, Sumurup village and Sengon village, Bendungan sub-district, Trenggalek district, East Java province. The water catchment area (DTA) on the Bagong river has a steep slope which can result in reduced productivity of water absorption which in turn can cause quite bad sedimentation. The amount of sedimentation can be estimated by calculating the rate or sediment transport that occurs at the location to be reviewed. Based on the results of the analysis of calculating the sedimentation rate using three methods, namely the Yang method, the Ackers-White method and the Engelund Hansen method respectively, the calculation of the sedimentation rate is 4.185,84 m³/year for the Yang method, 16.302,36 m³/year for the Ackers-White method, and 24.281,4 m³/year for the Engelund Hansen method. From the results of a comparison with project planning data, the Yang method has the smallest difference with project planning data, namely 1.646,93 m³/year, while the Ackers-White method has a difference of 10.469,59 m³/year and the Engelund Hansen method has a difference of 18.448,63 m³/year. From the three methods, namely the Yang, Ackers-White and Engelund Hansen methods, the service life predictions of the reservoirs were obtained for 101 years, 26 years, and also 17 years respectively.

Keywords: Dams, Sedimentation Rate, Analytical Methods.

ABSTRAK

Bendungan Bagong merupakan salah satu bendungan yang ada di Kabupaten Trenggalek yang mana pembangunan bendungan ini sebagai upaya penanggulangan banjir dan juga kekeringan yang ada di Kabupaten Trenggalek. Bendungan yang terletak di dusun Pengkok, desa Sumurup dan desa Sengon, kecamatan Bendungan, kabupaten Trenggalek provinsi Jawa Timur ini. Daerah Tampungan Air (DTA) pada sungai Bagong memiliki kemiringan yang curam tersebut dapat mengakibatkan berkurangnya produktifitas penyerapan air yang nantinya dapat menyebabkan sedimentasi yang cukup buruk. Jumlah sedimentasi dapat diperkirakan dengan menghitung laju atau angkutan sedimen yang terjadi pada lokasi yang akan ditinjau. Berdasarkan hasil analisis perhitungan laju sedimentasi menggunakan tiga metode yaitu metode Yang, metode Ackers-White dan metode Engelund Hansen berturut-turut menghasilkan perhitungan laju sedimentasi sebesar 4.185,84 m³/tahun untuk metode Yang, 16.302,36 m³/tahun untuk metode Ackers-White, dan 24.281,4 m³/tahun untuk metode Engelund Hansen. Dari hasil perbandingan dengan data perencanaan proyek, metode Yang memiliki selisih perbedaannya dengan data perencanaan proyek paling kecil yaitu sebesar 1.646,93 m³/tahun, sedangkan metode Ackers-White memiliki selisih sebesar 10.469,59 m³/tahun dan metode Engelund Hansen memiliki selisih sebesar 18.448,63 m³/tahun. Dari ketiga metode yaitu metode Yang, Ackers-White dan Engelund Hansen secara berurutan diperoleh prediksi usia layan waduk selama 101 tahun, 26 tahun, dan juga 17 tahun.

Kata kunci: Bendungan, Laju Sedimentasi, Metode Analitik.

1. PENDAHULUAN

Bendungan Bagong merupakan salah satu bendungan yang ada di Kabupaten Trenggalek yang mana pembangunan bendungan ini sebagai upaya penanggulangan banjir dan juga kekeringan yang ada di Kabupaten Trenggalek. Bendungan yang terletak di dusun Pengkok, desa Sumurup dan desa Sengon, kecamatan Bendungan, kabupaten Trenggalek provinsi Jawa Timur ini diperkirakan memiliki kapasitas daya tampung sebesar 17,40 juta m³. Bendungan Bagong ini dibangun pada aliran sungai Bagong yang mana sungai Bagong merupakan sumber air yang memiliki peranan penting bagi masyarakat Trenggalek karena aliran sungai Bagong menyuplai air untuk sawah-sawah. Dengan memiliki luas daerah aliran sungai (DAS) sebesar 39,95 km² dengan panjang total aliran sungai bagong adalah 26,65 km, lebar permukaan 42,40 m, lebar dasar 40,00 m dan memiliki kedalaman 4,00 m dengan curah hujan tahunan sebesar 1.900-3.000 mm. ((KSO), 2018)

Waktu kejadian/tiba banjir pada sungai dan sekitarnya sangat dipengaruhi oleh karakteristik sungai dan DTA, antara lain adalah kemiringan sungai dan panjang sungai utama selain kondisi tata guna lahan DTA. Walaupun bentuk DTA sungai Bagong lebih cenderung memanjang, namun sungai Bagong secara topografi mempunyai rata-rata kemiringan sungai yang cukup curam ($I = 0.004131$ m). Dikarenakan Daerah Tampungan Air (DTA) pada sungai Bagong memiliki kemiringan yang curam tersebut dapat mengakibatkan berkurangnya produktifitas penyerapan air. Produktifitas air yang kurang baik mengakibatkan aliran air akan langsung turun dari hulu menuju hilir dengan membawa berbagai material yang nantinya dapat menyebabkan sedimentasi yang cukup buruk pada bagian tengah maupun hilir sungai.

Sedimen sendiri merupakan endapan material yang berada pada aliran sungai atau pada bendungan. Material yang dimaksud antara lain seperti bebatuan, pecahan batu, ataupun lapisan tanah yang dapat mengalir sepanjang aliran sungai. Sedimentasi yang terjadi disepanjang aliran sungai bagong nantinya akan mengalir menuju kearah bendungan. Oleh sebab itu sedimentasi menjadi salah satu permasalahan yang dapat menimbulkan kerugian dan mempengaruhi kinerja atau fungsi waduk menjadi kurang optimal. Proses sedimentasi ini juga sangat berpengaruh terhadap kapasitas tampung bendungan atau jumlah volume air yang akan ditampung oleh bendungan dan juga usia guna bendungan.

Jumlah sedimentasi dapat diperkirakan dengan menghitung laju atau angkutan sedimen yang terjadi pada lokasi yang akan ditinjau. Laju sedimentasi sendiri merupakan jumlah dari sedimentasi per satuan luas daerah sepanjang aliran sungai. Ada beberapa metode analitik yang dapat digunakan dalam menghitung laju sedimentasi di area Bendungan Bagong diantaranya metode Yang, metode Ackers-White dan metode Engelund Hansen.

2. LANDASAN TEORI

Metode Yang (Ayu et al., 2017)

Dengan rumus yang digunakan sebagai berikut :

$$\log Ct = 5,435 - 0,286 \log \left[\frac{\omega \cdot Dm}{v} \right] - 0,457 \log \left[\frac{U^*}{\omega} \right] + \left(1,799 - 0,409 \left[\frac{\omega \cdot Dm}{v} \right] - 0,314 \log \left[\frac{U^*}{\omega} \right] \right) \log \left[\frac{V \cdot S}{\omega} - \frac{V_{cr} \cdot S}{\omega} \right]$$

Dimana:

Ct	= Konsentrasi angkutan sedimen (ppm)
ω	= Kecepatan jatuh (m/dt)
Dm	= Diameter butiran (m)
v	= Viskositas (m ² /dt)
U*	= Kecepatan geser (m/s)
V	= Kecepatan aliran (m/dt)
Vcr	= Kecepatan kritis (m/dt)
S	= Kemiringan saluran

Metode Ackers-White (Ayu et al., 2017)

Dengan rumus yang digunakan sebagai berikut :

$$X = \frac{D_{gr} \cdot \frac{\gamma_s}{\gamma} \cdot D_{50}}{H \cdot \left(\frac{U^*}{V} \right)^n}$$

Dimana:

X	= Konsentrasi angkutan sedimen (ppm)
Ggr	= Tingkatan angkut sedimen tak berdimensi
γ_s	= Berat jenis sedimen (kg/m ³)
γ	= Berat jenis (kg/m ³)
D50	= Ukuran butiran (mm)
H	= Kedalaman air (m)
U*	= Kecepatan geser (m/dt)
V	= Kecepatan aliran (m/dt)
C	= Koefisien

Metode Engelund-Hansen (Ayu et al., 2017)

Dengan rumus yang digunakan sebagai berikut :

$$\Phi = \frac{q_s}{\gamma_s} \left[\left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) g D_{50}^3 \right]^{-\frac{1}{2}}$$

$$g_s = 0,05\gamma_s V^2 \sqrt{\frac{D_{50}}{g\left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1\right) \left[\frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma)d_{50}}\right]^{\frac{3}{2}}}}$$

Dimana:

Φ = Parameter dari Englund Hansen

Q = Konsentrasi angkutan sedimen
(kg/m.dt)

γ_s = Berat jenis sedimen (kg/m³)

γ = Berat jenis air (kg/m³)

D_{50} = Diameter butiran (m)

g = Percepatan gravitasi (m/dt²)

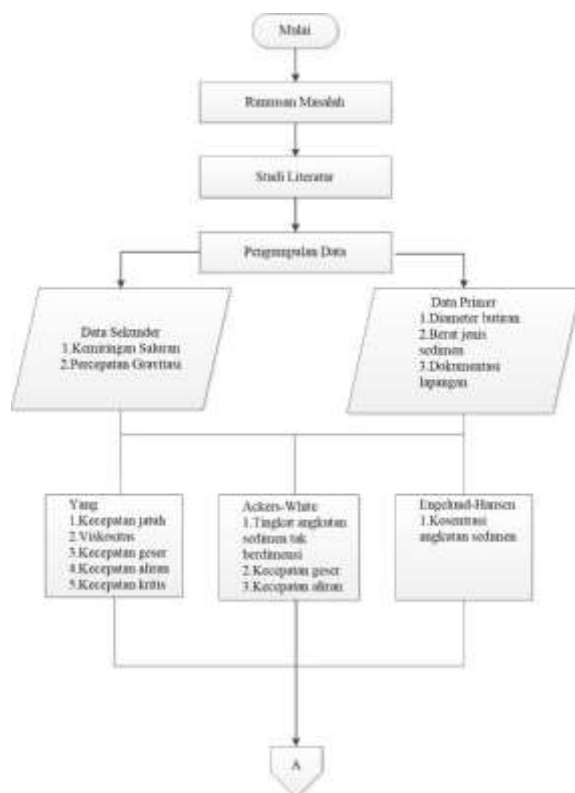
g_s = Satuan transpor sedimen

τ_0 = Tegangan geser pada dasar

3. METODE PENELITIAN

Diagram Alir

Diagram alir (*Flowchart*) merupakan diagram yang menggambarkan alur penelitian dari awal hingga akhir penelitian.



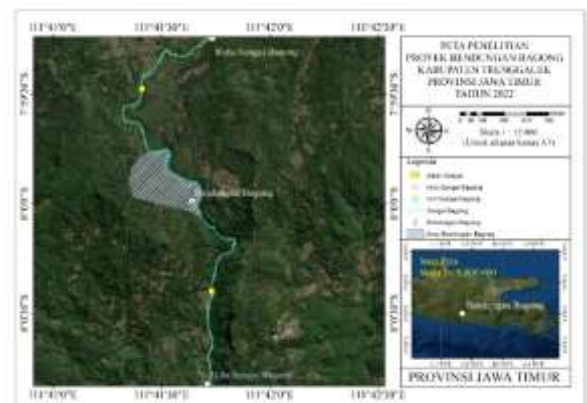
Gambar 1. Diagram Alir



Gambar 2. Diagram Alir (Lanjutan)

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada bagian hulu sungai sungai Bagong kecamatan Bendungan kabupaten Trenggalek.



Gambar 3. Lokasi Penelitian

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Data Sedimen

Data ukuran butiran sedimen diperoleh dari hasil perhitungan analisa saringan pada Tabel 1 dan hasil grafik dari data ukuran butiran sedimen dapat dilihat dari gambar 4 grafik gradasi butiran seperti dibawah ini.

Tabel 1. Analisa Saringan

Ø (mm)	Weight of retained (gram)		Σ % Retained	Σ% Pasing
50.8				100
25.4				100
19.5				100
9.5	96.9	5.7659	1.44148	98.559
4.75	101.1	10.302	2.57544	97.425
2	113	22.218	8.12993	91.87
0.42	109.7	125.77	39.5733	60.427
0.15	161.9	71.113	57.3515	42.648
0.075	114.9	24.14	63.3865	36.613
0.061	119.7	28.854	70.6	29.4
0.0463				24.895
0.0215				14.037
0.127				6.2819
0.0092				1.6286

Data Debit

Tabel 2. Data Debit

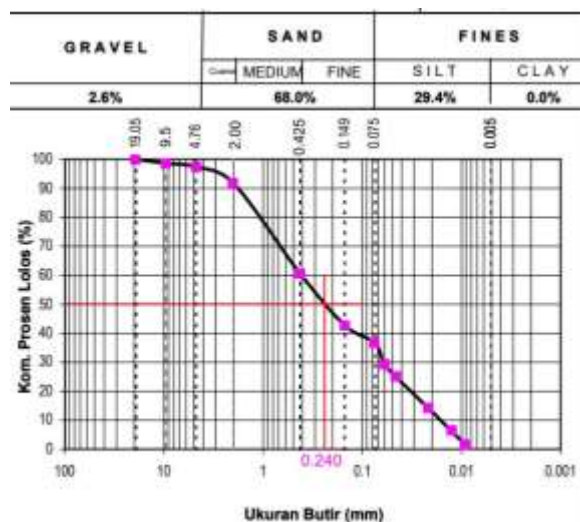
No	Tahun	Debit (m ³ /detik)
1	2009	67,12
2	2010	128,56
3	2011	54,39
4	2012	77,55
5	2013	96,20
6	2014	71,19
7	2015	76,36
8	2016	149,74
9	2017	95,17
10	2018	60,55

Viskositas

Untuk kekentalan cairan diambil dari tabel sifat-sifat air berdasarkan suhu rata-rata air yaitu 26°C.

Tabel 3. Tabel Sifat Air

Temp °C	Kerapatan ρ (kg/m ³)	Viskositas dinamis μ (Pa·s)	Viskositas kinematik ν (m ² /s)	Tegangan permukaan τ (N/m)	Tinggi tekaman uap p _v /γ (m)	Modulus elastisitas K (N/m ²)
18	998,62	1,052 x 10 ⁻³	1,052 x 10 ⁻⁶	0,0730		
20	998,23	1,000 x 10 ⁻³	1,002 x 10 ⁻⁶	0,0728	0,25	2,19x10 ⁹
25	997,08	0,887 x 10 ⁻³	0,890 x 10 ⁻⁶	0,0720	0,33	
30	995,68	0,795 x 10 ⁻³	0,798 x 10 ⁻⁶	0,0712	0,44	2,25x10 ⁹
35	994,06	0,715 x 10 ⁻³	0,719 x 10 ⁻⁶	0,0704	0,58	
40	992,25	0,648 x 10 ⁻³	0,653 x 10 ⁻⁶	0,0696	0,76	2,26x10 ⁹
45	990,25	0,590 x 10 ⁻³	0,596 x 10 ⁻⁶	0,0689	0,98	
50	988,07	0,540 x 10 ⁻³	0,547 x 10 ⁻⁶	0,0680	1,26	2,26 x 10 ⁹
60	983,24	0,459 x 10 ⁻³	0,467 x 10 ⁻⁶	0,0661	2,03	2,33 x 10 ⁹
70	977,81	0,395 x 10 ⁻³	0,408 x 10 ⁻⁶	0,0643	3,20	2,32 x 10 ⁹
80	971,83	0,345 x 10 ⁻³	0,355 x 10 ⁻⁶	0,0626	4,86	2,17 x 10 ⁹
90	965,34	0,304 x 10 ⁻³	0,313 x 10 ⁻⁶	0,0607	7,18	
100	958,38	0,270 x 10 ⁻³	0,282 x 10 ⁻⁶	0,0589	10,33	



Gambar 4. Grafik Butiran Sedimen

Berdasarkan grafik diatas juga diperoleh nilai d50 sebesar 0,24 mm (ditunjukkan garis merah). Dari data tersebut juga dapat dilihat pada Sungai Bagong sedimentasi didominasi oleh sedimen berbutir pasir (sand) dengan besar 68%. Untuk nilai G_s didapatkan sebesar 2,595.

Maka untuk mendapatkan viskositas suhu 26°C diperoleh dari perhitungan menggunakan interpolasi dibawah ini :

$$V = \frac{(26-25)(0,798 \times 10^{-3} - 0,890 \times 10^{-3})}{30-25} + 0,890 \times 10^{-3}$$

$$= 0,872 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{detik}$$

Tabel 4. Berat Jenis Air

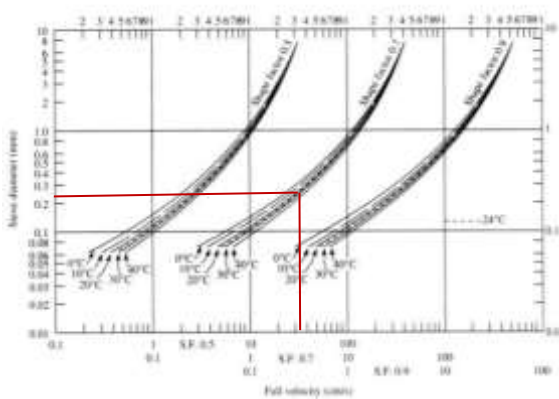
Temp °C	Berat jenis γ (kN/m ³)	Kerapatan ρ (kg/m ³)	Viskositas kinematik μ (m ² /s)	Viskositas kinematik ν (m ² /s)	Tegangan permukaan τ (N/m)	Tinggi tekaman uap p _v /γ (m)	Modulus elastisitas K (N/m ²)
25	9,78	997,08	0,887x10 ⁻³	0,890x10 ⁻⁶	0,0720	0,33	
30	9,77	995,68	0,795x10 ⁻³	0,798x10 ⁻⁶	0,0712	0,44	2,25x10 ⁹

Untuk mendapatkan berat jenis air pada suhu 26°C, dapat diperoleh dari tabel berat jenis air. Dari tabel berat jenis air pada tabel diatas dapat diperoleh interpolasi dari perhitungan berat jenis air sebesar :

$$\begin{aligned}\gamma &= \frac{(26-25)(9,77-9,78)}{(30-25)} + 9,78 \\ &= 9,778 \text{ KN/m}^3 \\ &= 977,08 \text{ Kg/m}\end{aligned}$$

Kecepatan Jatuh (ω)

Dari gambar grafik 5 dibawah diperoleh nilai kecepatan jatuh (ditunjukkan garis merah) dengan ukuran butiran 0,24 mm dengan asumsi *shape factor* 7 karena pasir dan diperoleh nilai kecepatan jatuh sebesar 32 cm/s atau 0,32 m/s.



Gambar 5. Kecepatan Jatuh

Detail Data

Selanjutnya dibutuhkan detail ukuran penampang sungai yang digunakan dalam proses perhitungan dengan asumsi bentuk penampang sungai adalah trapesium diantaranya sebagai berikut :

Lebar sungai (b) = 42,40 m

Kedalaman sungai (h) = 4,00 m

Kemiringan tebing sungai (z) = 0,066 m

$$\begin{aligned}\text{Luas penampang basah (A)} &= (b + zh)h \\ &= (42,40 + 0,066 \cdot 4) \cdot 4 \\ &= 170,656 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Keliling basah (P)} &= b + 2h \sqrt{z^2 + 1} \\ &= 42,40 + 2 \cdot 4 \sqrt{1 + 0,066^2} \\ &= 50,417 \text{ m}\end{aligned}$$

Kemiringan (S) = 0,004131

Temperatur (T) = 26°C

Percepatan gravitasi (g) = 9,81 kg/detik

Debit (Q) = 67,12 m³

$$\begin{aligned}\text{Kecepatan aliran rata-rata (V)} &= \frac{Q}{A} = \frac{67,12}{170,656} \\ &= 0,393 \text{ m/detik}\end{aligned}$$

$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = \frac{A}{P} = \frac{170,656}{50,417} = 3,385 \text{ m}$$

$$\gamma_s = 2595 \text{ kg}$$

$$\gamma = 997,08 \text{ kg/m}$$

Perhitungan Metode Yang

$$\begin{aligned}\text{a) } U^* &= \sqrt{g R S} \\ &= \sqrt{9,81 \cdot 3,385 \cdot 0,004131} \\ &= 0,370 \text{ m/s}\end{aligned}$$

b) $\omega = 0,32 \text{ m/s}$ (Diperoleh dari hubungan ukuran butiran dengan kecepatan jatuh)

$$\begin{aligned}\text{c) } V_{cr} &= \left[\frac{2,5}{\log\left(\frac{U^* d_{50}}{v}\right) - 0,06} + 0,66 \right] \omega \\ &= \left[\frac{2,5}{\log\left(\frac{0,370 \cdot 0,00024}{0,000000872}\right) - 0,06} + 0,66 \right] 0,32 \\ &= 0,5903 \text{ m/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{d) } B1 &= 5,435 - 0,286 \log \left[\frac{\omega d_{50}}{v} \right] - \\ &0,475 \log \left[\frac{U^*}{\omega} \right] \\ &= 5,435 - 0,286 \log \left[\frac{0,32 \cdot 0,00024}{0,000000872} \right] - \\ &0,475 \log \left[\frac{0,370}{0,32} \right] \\ &= 4,849\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{e) } C1 &= 1,779 - 0,409 \log \left[\frac{\omega d_{50}}{v} \right] - \\ &0,314 \log \left[\frac{U^*}{\omega} \right] \\ &= 1,779 - 0,409 \log \left[\frac{0,32 \cdot 0,00024}{0,000000872} \right] - \\ &0,314 \log \left[\frac{0,370}{0,32} \right] \\ &= 0,984\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{f) } \log Ct &= B1 + C1 \log \left[\frac{V S}{\omega} - \frac{V_{cr} S}{\omega} \right] \\ &= 4,849 + \\ &0,984 \log \left[\frac{0,393 \cdot 0,004131}{0,32} - \frac{0,5903 \cdot 0,004131}{0,32} \right] \\ &= 2,297\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{g) } Ct &= 10^{2,297} \\ &= 0,198 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{h) } Gw &= \gamma_b h S \\ &= 997,08 \times 42,40 \times 4 \times 0,004131 \\ &= 698,57 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{i) } Qs &= Ct Gw \\ &= 0,198 \times 698,57 \\ &= 138,424 \text{ kg/hari} \\ &= 138,424 \times 24 \times 3600 \times 365 \times 10^6 \\ &= 4.945,925 \text{ m}^3/\text{tahun}\end{aligned}$$

Perhitungan Metode Ackers-White

$$\begin{aligned}\text{a) } U^* &= \sqrt{g R S} \\ &= \sqrt{9,81 \cdot 3,385 \cdot 0,004131}\end{aligned}$$

$$= 0,370 \text{ m/detik}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } D_{gr} &= d_{50} \left[\frac{9,81 \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)}{v^2} \right]^{1/3} \\ &= 0,00024 \left[\frac{9,81 \left(\frac{2595}{997,08} - 1 \right)}{0,000000872^2} \right]^{1/3} \\ &= 6,52 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) } n &= 1 - 0,56 \log D_{gr} \\ &= 1 - 0,56 \log 6,52 \\ &= 0,544 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d) } m &= \frac{6,83}{D_{gr}} + 1,67 \\ &= \frac{6,83}{6,52} + 1,67 \\ &= 2,717 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e) } A_w &= \frac{0,23}{\sqrt{D_{gr}}} + 0,14 \\ &= \frac{0,23}{\sqrt{6,2}} + 0,14 \\ &= 0,23 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f) } C &= 10^{2,79 \log D_{gr} - 0,98 \log D_{gr}^2 - 3,46} \\ &= 10^{2,79 \log 6,2 - 0,98 \log 6,2^2 - 3,46} \\ &= 0,0145 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{g) } F_{gr} &= \frac{U_*^n}{\left(g d \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) \right)^{1/2}} \left[\frac{v}{\sqrt{32} \log \frac{10,4}{d_{50}}} \right]^{1-n} \\ &= \frac{0,370^{-0,466}}{\left(9,81 \cdot 0,00024 \left(\frac{2595}{997,08} - 1 \right) \right)^{1/2}} \times \\ &\quad \left[\frac{0,393}{\sqrt{32} \log \frac{10,4}{0,00024}} \right]^{1-0,544} \\ &= 0,894 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{h) } G_{gr} &= C \left(\frac{F_{gr}}{A_w} - 1 \right)^m \\ &= 0,0145 \left(\frac{0,894}{0,23} - 1 \right)^{2,717} \\ &= 0,259 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{i) } X &= \frac{G_{gr} d_{50} \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} \right)}{h \left(\frac{U_*}{V} \right)^n} \\ &= \frac{0,259 \cdot 0,00024 \left(\frac{2595}{997,08} \right)}{4 \left(\frac{0,370}{0,393} \right)^{0,544}} \end{aligned}$$

$$= 0,0000418 \text{ kg/m}$$

$$\text{j) } G = \gamma \times Q$$

Tahun	Metode		
	Yang	Ackers-White	Englund-Hansen
2009	4.945,93	4.238,91	12.823,54
2010	4.113,84	39.691,91	47.045,25
2011	6.780,28	1.993,71	8.420,58
2012	3.437,54	7.045,95	17.118,58
2013	690,63	14.849,38	26.342,33
2014	4.367,65	5.219,02	14.425,87
2015	3.607,84	6.675,19	16.597,24
2016	7.165,52	66.062,03	63.823,37
2017	843,82	14.311,22	25.781,26
2018	5.905,82	2.936,24	10.435,96
Rata-rata	4.185,84	16.302,36	24.281,4

$$= 997,08 \cdot 0,0000418 \cdot 67,12$$

$$= 2,798 \text{ kg/s}$$

$$\begin{aligned} \text{k) } Q_s &= G \times b \\ &= 2,798 \times 42,40 \\ &= 118,636 \text{ kg/s} \\ &= 118,636 \times 24 \times 3600 \times 365 \times 10^6 \\ &= 4.238,91 \text{ m}^3/\text{tahun} \end{aligned}$$

Perhitungan Metode Englund Hansen

$$\begin{aligned} \text{a) } \tau_0 &= \gamma h S \\ &= 997,08 \times 4 \times 0,004131 \\ &= 16,475 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } f^* &= \frac{2 g S h}{v^2} \\ &= \frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,004131 \cdot 4}{0,393^2} \\ &= 2,096 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) } \theta &= \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma) d_{50}} \\ &= \frac{16,475}{(2595 - 997,08) 0,00024} \\ &= 42,961 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d) } q_s &= \frac{0,1}{f^*} \theta^{5/2} \gamma \sqrt{(G_s - 1) g d_{50}} \\ &= \frac{0,1}{2,096} 42,961^{5/2} 997,08 \sqrt{(2595 - 1) 9,81 \cdot 0,00024} \\ &= 8,464 \text{ kg/m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e) } Q_s &= b \times q_s \\ &= 42,40 \times 8,464 \times 24 \times 3600 \times 365 \times 10^6 \\ &= 12.823,54 \text{ m}^3/\text{tahun} \end{aligned}$$

Data Proyek	Metode Analitik		Selisih
m ³ /tahun	m ³ /tahun		
	Yang	4.185,84	1.646,93
5.832,77	Ackers-white	16.302,36	10.469,59
	Engelund-Hansen	24.281,4	18.448,63

Tabel 5. Rekapitulasi Perhitungan

Tabel 6. Perbandingan Hasil (m³/tahun)Tabel 7. Perbandingan Hasil (m³/50 tahun)

Data Proyek	Metode Analitik		Selisih
m ³ /50 tahun	m ³ /50 tahun		
	Yang	209.292	82.346,5
291.638,5	Ackers-white	815.118	595.479,5
	Engelund-Hansen	1.214.070	922.431,5

Selanjutnya untuk perhitungan prediksi umur layan waduk sendiri menggunakan persamaan besaran volume tampungan mati waduk dibagi dengan hasil perhitungan volume diatas.

- Metode Yang

$$\begin{aligned}\text{Umur layan waduk} &= \frac{\text{Kapasitas dead storage}}{\text{Volume sedimen}} \\ &= \frac{163.485}{1.613,04} \\ &= 101 \text{ tahun}\end{aligned}$$

- Metode Ackers-White

$$\begin{aligned}\text{Umur layan waduk} &= \frac{\text{Kapasitas dead storage}}{\text{Volume sedimen}} \\ &= \frac{163.485}{6.282,22} \\ &= 26 \text{ tahun}\end{aligned}$$

- Metode Engelund-Hansen

$$\begin{aligned}\text{Umur layan waduk} &= \frac{\text{Kapasitas dead storage}}{\text{Volume sedimen}} \\ &= \frac{163.485}{9.356,99} \\ &= 17 \text{ tahun}\end{aligned}$$

Perhitungan Prediksi Umur Layan Waduk

- Metode Yang

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= \frac{\text{Hasil perhitungan laju sedimen}}{\text{Berat jenis (Gs)}} \\ &= \frac{4.185,84}{2,595} \\ &= 1.613,04 \text{ m}^3/\text{tahun}\end{aligned}$$

- Metode Ackers-White

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= \frac{\text{Hasil perhitungan laju sedimen}}{\text{Berat jenis (Gs)}} \\ &= \frac{16.302,36}{2,595} \\ &= 6.282,22 \text{ m}^3/\text{tahun}\end{aligned}$$

- Metode Engelund-Hansen

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= \frac{\text{Hasil perhitungan laju sedimen}}{\text{Berat jenis (Gs)}} \\ &= \frac{24.281,4}{2,595} \\ &= 9.356,99 \text{ m}^3/\text{tahun}\end{aligned}$$

5. KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil analisis perhitungan laju sedimentasi menggunakan tiga metode yaitu metode Yang, metode Ackers-White dan metode Engelund Hansen berturut-turut menghasilkan perhitungan laju sedimentasi sebesar 4.185,84 m³/tahun untuk metode Yang, 16.302,36 m³/tahun untuk metode Ackers-White, dan 24.281,4 m³/tahun untuk metode Engelund Hansen.

2. Berdasarkan hasil analisis perhitungan didapatkan perbandingan dari ketiga metode analitik dengan data perencanaan proyek. Hasil perbandingan metode Yang dengan data proyek menghasilkan selisih sebesar 1.646,93 m³/tahun, sedangkan selisih yang diperoleh dari perhitungan menggunakan metode Ackers-White sebesar 10.469,59 m³/tahun dan untuk metode Engelund Hansen mendapatkan selisih terbanyak dengan data proyek sebesar 18.448,63 m³/tahun.

3. Berdasarkan hasil analisis perhitungan usia layan waduk dari ketiga metode tersebut didapatkan hasil untuk metode Yang memiliki prediksi umur layan selama 101 tahun, untuk metode Ackers-White selama 26 tahun dan untuk metode Engelund Hansen selama 17 tahun.

DAFTAR PUSTAKA (DAN PENULISAN PUSTAKA)

Buku:

(KSO), P. R. K.-P. B. P. S.-C. J. (2018). *Sedimen Bagong_1*.

Jurnal:

Ayu, F., Shiarni, R., Lasminto, U., Wardoyo, W., Sipil, D. T., Teknik, F., Teknologi, I., & Nopember, S. (2017). *Laju Sedimentasi pada Tampungan Bendungan*. 6(2).