

STUDI MUATAN *SUSPENDED LOAD* DAN *BED LOAD* PADA UPSTREAM BENDUNG DI HULU SUNGAI-SUNGAI BESAR KABUPATEN BANYUWANGI

Feny Yuliana Wardani¹⁾, Zulis Erwanto²⁾, dan Yuni Ulfiyati³⁾

- ¹⁾ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi, Jl. Raya Jember Km. 13 Labanasem Kabat Banyuwangi, e-mail: wardanifeny17@gmail.com
²⁾ Dosen Program Studi Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi, Jl. Raya Jember Km. 13 Labanasem Kabat Banyuwangi, e-mail: zulis.erwanto@poliwangi.ac.id.
³⁾ Dosen Program Studi Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi, Jl. Raya Jember Km. 13 Labanasem Kabat Banyuwangi, e-mail: yuni_ulfia@yahoo.co.id

Abstrak : Di Kabupaten Banyuwangi terdapat empat sungai besar antara lain Sungai Tambong, Sungai Bomo, Sungai Kalisetail, dan Sungai Kalibaru. Sungai-sungai tersebut sering terjadi peningkatan debit akibat tingginya endapan sedimen pada bendung. Analisis muatan *suspended load* menggunakan metode *Engelund & Hansen*, *Einstein*, dan *Chang Simons & Richardson*. Sedangkan analisis muatan *bed load* menggunakan metode *Meyer-peter ; Duboys ; dan Shields*. Berdasarkan hasil analisis besar muatan *suspended load* dan *bed load* pada keempat *upstream* bendung, dengan nilai yang didapat untuk muatan *suspended load* pada Bendung Poncowati 2.45×10^{-4} ton/hari, Bendung Gembleng 5.90×10^{-4} ton/hari, Bendung Jambewangi 1.12×10^{-4} ton/hari, Bendung Karangdoro 8.85×10^{-4} ton/hari. Sedangkan muatan *bed load* pada Bendung Poncowati 9.48×10^{-1} ton/hari, Bendung Gembleng 0.1778 ton/hari, Bendung Jambewangi 3.56×10^{-1} ton/hari, Bendung Karangdoro 4.69×10^{-1} ton/hari. Kondisi bendung masih dalam kategori baik, akan tetapi pada keempat *upstream* bendung tersebut tetap diperlukan perawatan bendung dengan cara menguras sedimen bendung secara berkala.

Kata Kunci : *Bed load*, Bendung, Sungai, *Suspended load*, *Upstream*

*STUDY OF CHARGE *SUSPENDED LOAD* AND *BED LOAD* ON UPSTREAM WEIRS IN UPSTREAM OF MAJOR RIVERS BANYUWANGI*

Abstract: *In Banyuwangi Regency there are four major rivers include the Tambong river, Bomo River, Kalisetail river and Kalibaru river. The rivers often increase of discharge due to high sediment deposition at Weirs. Charge analysis of suspended load using method Engelund & Hansen, Einstein, and Chang Simons & Richardson. While the analysis of charge bed load using method of Meyer-peter; Duboys ; and Shields. Based on the results of the analysis of large loads suspended load and bed load in the four upstream weirs, to the value obtained for the payload suspended load on Weirs Poncowati 2.45×10^{-4} tons/day, Weirs Gembleng 5.90×10^{-4} tons/day, Weirs Jambewangi 1.12×10^{-4} tons/day, Weirs Karangdoro 8.85×10^{-4} ton/day. While the charge of bed load on Weirs Poncowati 9.48×10^{-1} tons/day, the weirs holds Gembleng 0.1778 tons/day, the weirs holds Jambewangi 3.56×10^{-1} tons/day, the weirs holds Karangdoro 4.69×10^{-1} ton/day. The condition of the Weirs were still in the category of good, but in the four upstream Weirs needed Weirs treatments remain the way to drain the sediment weirs holds at regular intervals.*

Keywords : *Bed load, Weirs, Streams, Suspended load, Upstream*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu penurunan kapasitas sungai adalah terjadinya penumpukan sedimen atau disebut sedimentasi yang terjadi di badan sungai baik itu di tengah-tengah alur sungai maupun pada daerah muara sungai.

Di Kabupaten Banyuwangi terdapat empat sungai besar antara lain Sungai Tambong, Sungai Bomo, Sungai Kalisetail, dan Sungai Kalibaru. Sungai-sungai tersebut sering mengalami peningkatan debit

akibat tingginya endapan sedimen pada *upstream* bendung yang menyebabkan pendangkalan di daerah hulu sungai sehingga perlu adanya studi guna untuk mengantisipasi terjadinya banjir.

Akibat dampak kerusakan arus, erosi, dan sedimentasi pada badan sungai ataupun pada tebing dan lahan sekitar sungai yang mempengaruhi kapasitas daya tampung sungai khususnya pada daerah hulu maka perlu adanya studi tentang muatan sedimen *suspended load* dan *bed load* pada *upstream* bendung sungai-sungai besar di Kabupaten

Banyuwangi dengan harapan agar dapat dijadikan rekomendasi oleh dinas terkait untuk menanggulangi bencana banjir dan pendangkalan pada bendung atau waduk di sungai-sungai besar Kabupaten Banyuwangi.

1.2 Permasalahan

Berapa besar muatan *suspended load* dan *bed load* pada *upstream* bendung di sungai-sungai besar Kabupaten Banyuwangi ?

1.3 Tujuan Penelitian

Untuk mengetahui muatan *suspended load* dan *bed load* pada *upstream* bendung di sungai-sungai besar Kabupaten Banyuwangi.

2. DASAR TEORI

2.1 Bendung

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia 03-2401-1991⁽¹⁾ tentang pedoman perencanaan hidrologi dan hidraulik untuk bangunan di sungai adalah bangunan ini dapat didesain dan dibangun sebagai bendung tetap, bendung gerak, atau kombinasinya, dan harus dapat berfungsi untuk mengendalikan aliran dan angkutan muatan di sungai sedemikian sehingga dengan menaikkan muka airnya, air dapat dimanfaatkan secara efisien sesuai dengan kebutuhannya.

2.2 Sedimen dan Sedimentasi

Sedimen adalah hasil proses erosi, baik berupa erosi permukaan, erosi parit, atau jenis erosi tanah lainnya. Sedimen umumnya mengendap di bagian bawah kaki bukit, di daerah genangan banjir, di saluran air, sungai, dan waduk. Sedimentasi sendiri merupakan suatu proses pengendapan material yang ditranspor oleh media air, angin, es, atau gletser di suatu cekungan. (Asdak, 2007)⁽³⁾.

2.3 Tingkat Sedimentasi

Indikator terjadinya sedimentasi dapat dilihat dari besarnya kadar lumpur dalam air yang terangkut oleh aliran air sungai, atau banyaknya endapan sedimen pada badan-badan air dan atau waduk. Klasifikasi tingkat sedimentasi dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Klasifikasi Tingkat Sedimentasi

No	Sedimen (ton/th)	Kelas	Skor
1	<2	Baik	1
2	2 – 5	Sedang	3
3	>5	Jelek	5

Sumber: Peraturan Direktur Jenderal Rehabilitasi Lahan, 2009 ⁽²⁾

2.4 Ukuran Butir Sedimen

Berdasarkan pada jenis sedimen dan ukuran partikel-partikel tanah serta komposisi mineral dan

bahan induk yang menyusunnya, dikenal bermacam jenis sedimen seperti pasir, tanah liat, dan lain sebagainya. Menurut ukurannya sedimen dibedakan menjadi beberapa jenis seperti pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.3 Ukuran Butir Sedimen

Jenis Sedimen	Ukuran Partikel (mm)
Liat	<0,0039
Debu	0,0039 – 0,0625
Pasir	0,0625 – 2,0
Pasir Besar	2,0 – 64,0

Sumber : Asdak, 2007⁽³⁾

Tabel 2.4 Klasifikasi Sedimen Merayap Berdasarkan Diameter Partikel

Diameter Partikel (mm)	Klasifikasi Sedimen
-	Batu Kali
>256	Bulder (<i>boulder</i>)
128 - 256	Kobel Besar (<i>large cobbel</i>)
64 – 128	Kobel Kecil (<i>small cobbel</i>)
32 – 64	Pebel Besar (<i>large pebble</i>)
16 – 32	Pebel Kecil (<i>small pebble</i>)
8 – 16	Batu Kerikil Kasar (<i>coarse gravel</i>)
4 – 8	Batu Kerikil sedang (<i>medium gravel</i>)
2 - 4	Batu Kerikil Kecil (<i>fine gravel</i>)
0,5 – 1	Pasir Sungai Kasar (<i>Very coarse</i>)
0,25 – 0,5	Pasir Kasar (<i>coarse</i>)
0,125 – 0,25	Pasir sedang (<i>medium</i>)
0,063 – 0,125	Pasir halus (<i>fine</i>)
0,032 – 0,063	Pasir sangat halus (<i>very fine</i>)
<0,032	Lumpur (<i>silt</i>)
	Tanah liat (<i>clay</i>)

Sumber : Effendi, 2003 (dalam Ansar dkk,2014) ⁽⁴⁾

2.5 Pengujian Sedimen

2.5.1 Muatan *Suspended load*

Muatan *Suspended load* membutuhkan beberapa pengujian antara lain yaitu pengujian berat volume menggunakan kertas filter dan pengujian hidrometer.

2.5.2 Muatan *Bed load*

Pada muatan *bed load* dilakukan pengujian berat jenis, pengujian analisis saringan dan pengujian hidrometer untuk sampel yang lolos saringan No 200.

2.6 Analisis Muatan Sedimen

Analisis muatan sedimen digunakan untuk mengetahui berapa besar sedimen yang mengendap di daerah bendung bagian *upstream*.

2.6.1 Muatan *Suspended load*

1. *Engelund* dan *Hasen* – 1967 (Boanganmanalu dan Indrawan, 2008) ⁽⁵⁾

$$q_{sw} = 0,05 \gamma_s v^2 \left[\frac{d_{50}}{g \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right)} \right]^{1/2} \left[\frac{\tau_o}{(\gamma_s - \gamma) d_{50}} \right]^{3/2} \tag{2.1}$$

$$\tau_o = \gamma D S \tag{2.2}$$

Dengan :

- q_{sw} = Muatan *suspended load*, ton/hari
- γ_s = berat jenis sedimen, g/cm³
- γ = berat jenis air, 1 ton/m³
- v = kecepatan rata-rata aliran, m/s
- g = gaya gravitasi, 9.81 m/s²
- d_{50} = hasil dari uji Lab Hidrometer, mm
- D = kedalaman sungai, m
- S = kemiringan dasar sungai

2. *Einstein* – 1950 (Soemarto,1987)⁽⁶⁾

$$q_{sw} = 11,6 U'_{*} C_a a \left[\left(2,303 \log \frac{30,2D}{\Delta} \right) I_1 + I_2 \right] \quad (2.3)$$

Dengan :

- q_{sw} = muatan *suspended load*, ton/hari
- $U'_{*} = U_{*} = (gRS)^{0.5}$ atau $U_{*} = (gDS)^{0.5}$
- D = kedalaman sungai, m
- a = $2d_{65}$, mm
- $\Delta = k_s/x = d_{65}/x$

$$(2.4)$$

Untuk mencari nilai x dapat menggunakan persamaan :

$$X = 0.77 \frac{d_{65}}{x} \text{ jika } \frac{d_{65}}{x} > 1.80 \delta' \quad \text{alas kasar} \quad (2.5)$$

$$X = 1.39 \frac{d_{65}}{x} \text{ jika } \frac{d_{65}}{x} > 1.80 \delta' \quad \text{alas licin} \quad (2.6)$$

$$\delta' = \frac{11.6 \times v}{v'_{*}}$$

Hitung nilai

v = kekentalan kinematik air, cm²/detik

$$v'_{*} = \sqrt{gR_b S}$$

Hitung nilai $v'_{*} = \sqrt{gR_b S}$ (2.7)

Dengan :

- R_b = jari-jari hidrolis
- S = kemiringan dasar sungai

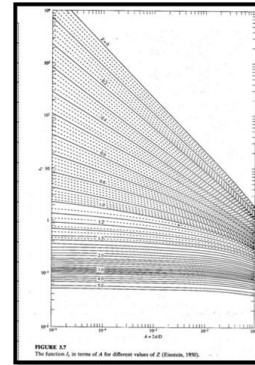
Hitung nilai $\frac{k_s}{\delta} = \frac{u_* \times d_{65}}{11.6v}$ (2.8)

$$Ca = \frac{1}{11.6} \frac{i_B \times q_B}{2 d v} \quad (2.9)$$

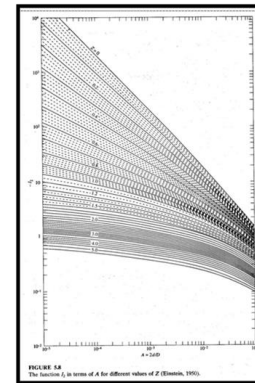
Untuk mencari nilai

Dengan :

- v = kecepatan rata-rata aliran, m/s
- i_B = ukuran beban alas, mm
- q_B = hasil muatan *bed load*, ton/hari
- d = diameter butiran, mm
- I = numerik terintergritas dapat dicari menggunakan **Grafik 2.1** untuk nilai I_1 dan **Grafik 2.2** untuk I_2



Grafik 2.1 Dengan menggunakan nilai I_1 dapat dicari nilai A dan Z (Soemarto,1987)⁽⁶⁾



Grafik 2.2 Dengan menggunakan nilai I_2 dapat dicari nilai A dan Z (Soemarto,1987)⁽⁶⁾

$$Z = \frac{\omega}{0.4 \times U'_{*}} \quad A = 2d_{65}/D$$

Hitung nilai ω dan pada persamaan Grafik I_1 dan I_2
Hitung nilai *fall felicity* :

$$\omega = \frac{1}{8} \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} g \frac{d^2}{v} \quad (2.10)$$

Dengan :

- γ_s = berat jenis sedimen, g/cm³
- q_B = hasil muatan *bed load*, ton/hari
- d = diameter butiran, mm

3. *Chang simons* dan *Richardson* – 1965 (Diansari, 2014)⁽⁷⁾

$$q_{sw} = \gamma DC_a \left(V \cdot I_1 - \frac{2U_*}{k} I_2 \right) \quad (2.11)$$

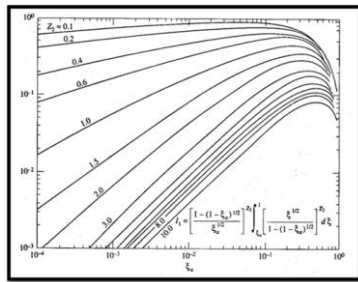
Dengan :

- q_{sw} = muatan *suspended load*, ton/hari
- γ = berat jenis air, 1 ton/m³
- k = konstanta prandtl – von karman , 0,4
- v = kecepatan rata-rata aliran, m/s
- D = kedalaman sungai, m
- $U'_{*} = U_{*} = (gRS)^{0.5}$ atau $U_{*} = (gDS)^{0.5}$

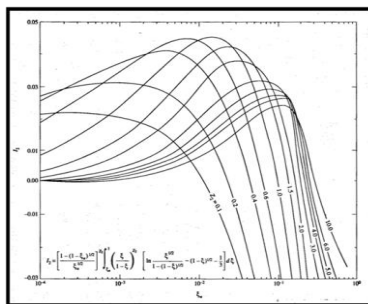
$$Ca = \frac{1}{11.6} \frac{i_B \times q_B}{2 d v}$$

Nilai Ca :

¹ = numerik terintegrasi dapat dicari menggunakan **Grafik 2.3** untuk nilai I_1 dan **Grafik 2.4** untuk I_2



Grafik 2.3 Hubungan antara ϵ_a dengan didapat nilai I_1 (Diansari, 2014) ⁽⁷⁾



Grafik 2.4 Hubungan antara ϵ_a dengan didapat nilai I_2 (Diansari, 2014) ⁽⁷⁾

Hitung Nilai $\epsilon_a = \frac{a}{D}$ dan $Z_2 = \frac{2\omega}{\beta U_* k}$ dan Hitung nilai koefisien kolerasi (momentum)

$$\beta = \frac{S}{B} \quad (2.12)$$

menggunakan persamaan

- Dengan :
- γ_s = ukuran butir beban alas, g/cm³
- q_b = hasil muatan *bed load*, ton/hari
- d = diameter butiran, mm
- S = kemiringan sungai
- B = panjang sungai, m
- g = gaya grafitasi, m/s²

2.6.2 Muatan Bed load

1. *Meyer-Peter* – 1948 (Soemarto,1987) ⁽⁶⁾

$$q_b^{2/3} = 39,5 q^{2/3} S 9,95 d \quad (2.13)$$

Dengan :

- q_b = muatan *bed load*, ton/hari
- q = debit air, m³/s
- S = kemiringan dasar sungai
- d = ukuran butir rata-rata sedimen.

2. *Dubois* – Rouse 1950 (Soemarto,1987) ⁽⁶⁾

$$q_b = \psi \left(\frac{\tau_o - \tau_c}{\gamma} \right) \quad (2.14)$$

$$\tau_o = \gamma D S$$

Dengan :

- q_b = muatan *bed load*, ton/hari
- S = kemiringan dasar sungai
- ψ = koefisien yang tergantung pada butir rata-rata sedimen.

Nilai koefisien dapat dicari menggunakan

$$\psi = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{D}{R_b S} \quad (2.15)$$

persamaan

$$\tau_c = \text{tegangan gesek alas kritis, kg/m}^3$$

Nilai tegangan gesek alas kritis dapat dicari menggunakan persamaan

$$\tau_c = \frac{\tau_o}{\gamma(\gamma_s - 1)D} \quad (2.16)$$

Dengan :

- γ = berat jenis air, 1 ton/m³
- D = kedalaman sungai, m
- γ_s = berat jenis sedimen, g/cm³

3. *Shields* – Rouse 1950 (Soemarto,1987) ⁽⁶⁾

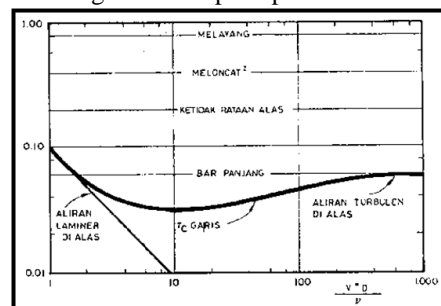
$$q_b = 10 q S \left(\frac{\tau_o - \tau_c}{(G_s - 1)^2} \right) \quad (2.17)$$

$$\tau_o = \gamma D S$$

Dengan :

- q_b = muatan sedimen *bed load*, ton/hari
- q = debit sungai, m³/detik
- τ_c = tegangan gesek alas kristis seperti tertera pada **Grafik 2.5**
- D = kedalaman sungai, m
- G_s = berat jenis butir sedimen, g/cm³
- v = kecepatan rata-rata aliran, m/s
- γ = berat jenis air, 1 ton/m³
- S = kemiringan dasar sungai

Hitung nilai $\frac{v D}{\nu}$ pada persamaan **Grafik 2.5**



Grafik 2.5 Tegangan Gesek Alas Kritis (Soemarto,1987) ⁽⁶⁾

3. METODOLOGI

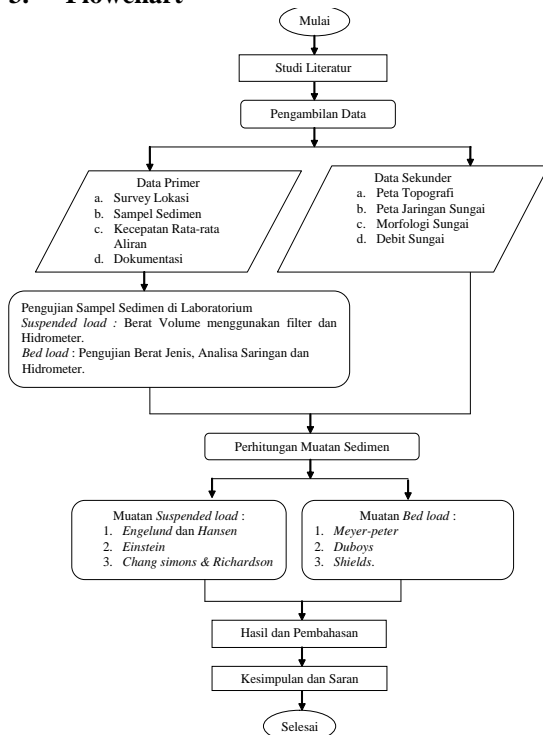
1. Pengumpulan Data

Data primer didapat langsung dari survei di lapangan dengan mengambil sampel sedimen. Data sekunder berupa data peta topografi, peta jaringan sungai, morfologi sungai, dan debit sungai yang berasal dari UPTD PSDA WS Sampean Baru Kabupaten Bondowoso.

2. Langkah Kerja

- a. Penentuan lokasi studi yaitu di Sungai Tambong pada Bendung Poncowati, di Sungai Bomo pada Bendung Gembleng, di Sungai Kalisetail pada Bendung Jambewangi, dan di Sungai Kalibaru pada Bendung Karangdoro.
- b. Mengambil sampel muatan *suspended load* menggunakan alat *Sediment Sampler U.S.DH 81* dan muatan *bed load* menggunakan alat *Van Veen Grab Sampler* yang dilakukan di atas mercu bendung.
- c. Melakukan pengujian sampel sedimen di laboratorium Politeknik Negeri Banyuwangi, guna mengetahui karakteristik dari muatan *suspended load* dan muatan *bed load* pada keempat bendung *upstream* yang dipilih.
- d. Menganalisis besar muatan sedimen menggunakan metode yang telah dipilih.

3. Flowchart



Gambar 3.1 Bagan Alir Pengerjaan Studi

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Analisis Karakteristik Sedimen

4.1.1 Muatan *Suspended load*

a. Pengujian Hidrometer

Tabel 4.1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Hidrometer Bendung Poncowati & Gembleng

No	Poncowati			Gembleng		
	D10	D50	D65	D10	D50	D65
1	0.03940	0.04536	0.05604	0.03960	0.04554	0.05617
2	0.03908	0.04509	0.05587	0.04216	0.04782	0.05776
3	0.03947	0.04543	0.05610	0.03744	0.04360	0.05479
4	0.04105	0.04683	0.05707	0.03647	0.04272	0.05418
5	0.04158	0.04731	0.05741	0.04136	0.04711	0.05726
6	0.03650	0.04274	0.05417	0.04442	0.04979	0.05909
7	0.03777	0.04390	0.05500	0.04186	0.04754	0.05755
8	0.04731	0.05228	0.06073	0.04884	0.05360	0.06160
9	0.04514	0.05041	0.05950	0.04695	0.05198	0.06055
10	0.04494	0.05024	0.05939	0.04815	0.05300	0.06122

Sumber : Hasil Laboratorium, 2017

Tabel 4.2 Rekapitulasi Hasil Pengujian Hidrometer Bendung Jambewangi & Karangdoro

No	Jambewangi			Karangdoro		
	D10	D50	D65	D10	D50	D65
1	0.04232	0.04795	0.05783	0.04305	0.04860	0.05829
2	0.04440	0.04977	0.05907	0.04001	0.04592	0.05646
3	0.03865	0.04470	0.05558	0.03950	0.04546	0.05613
4	0.04295	0.04852	0.05824	0.03593	0.04223	0.05379
5	0.03843	0.04449	0.05541	0.03841	0.04448	0.05542
6	0.04620	0.05133	0.06013	0.04784	0.05274	0.06106
7	0.04614	0.05128	0.06009	0.04882	0.05358	0.06160
8	0.04764	0.05257	0.06094	0.05025	0.05479	0.06240
9	0.04802	0.05289	0.06115	0.04929	0.05398	0.06187
10	0.04713	0.05213	0.06065	0.04696	0.05199	0.06056

Sumber : Hasil Laboratorium, 2017

Menurut Asdak (2007)⁽³⁾ klasifikasi ukuran butir sedimen 0.0039 – 0.0625 mm dikategorikan jenis sedimen debu, dari hasil yang ditunjukkan pada tabel di atas jenis sedimen pada keempat bendung bagian *upstream* di sungai-sungai besar tersebut termasuk dalam kategori debu seperti pada **Gambar 4.1**



Gambar 4.1 Sampel Muatan *Suspended load* (Dokumentasi, 2017)

b. Pengujian Berat Volume Menggunakan Kertas Filter

Tabel 4.3 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Menggunakan Kertas Filter

Hari	Poncowati (mg/ml)	Gembleng (mg/ml)	Jambewangi (mg/ml)	Karangdoro (mg/ml)
1	10.467	10.727	8.520	11.823
2	6.074	10.569	12.698	10.690
3	4.833	10.396	7.142	11.468
4	7.056	11.561	7.056	11.468
5	12.611	12.672	10.009	9.357
6	9.711	12.950	11.964	11.826
7	10.402	11.474	12.803	10.483
8	10.391	10.878	10.606	11.222
9	10.889	10.878	10.611	10.778
10	10.989	10.733	10.557	10.856

Sumber : Hasil Laboratorium, 2017

4.1.2 Muatan Bed Load

a. Pengujian Berat Jenis

Tabel 4.4 Rekapitulasi Pengujian Berat Jenis

Hari	Poncowati (g/cm ³)	Gembleng (g/cm ³)	Jambewangi (g/cm ³)	Karangdoro (g/cm ³)
1	2.174	2.227	1.874	1.833
2	2.282	1.923	1.730	2.151
3	2.233	2.372	2.345	2.289
4	2.052	2.508	1.900	2.578
5	2.022	2.079	2.386	2.369
6	2.562	1.750	1.489	1.317
7	2.455	2.057	1.462	1.245
8	1.385	1.231	1.300	1.133
9	1.575	1.472	1.326	1.195
10	1.643	1.332	1.418	1.479

Sumber : Hasil Laboratorium, 2017

b. Pengujian Analisa Saringan dan Pengujian Hidrometer (Sampel Lolos Ayakan No. 200)

Tabel 4.5 Rekapitulasi Hasil Pengujian Hidrometer Bed Load Bendung Poncowati & Gembleng

No	Poncowati			Gembleng		
	D10	D50	D65	D10	D50	D65
1	0.0396	0.0456	0.0562	0.0393	0.0453	0.0560
2	0.0388	0.0448	0.0557	0.0419	0.0476	0.0576
3	0.0385	0.0445	0.0555	0.0372	0.0434	0.0546
4	0.0408	0.0466	0.0569	0.0362	0.0425	0.0540
5	0.0416	0.0473	0.0574	0.0411	0.0469	0.0571
6	0.0362	0.0425	0.0540	0.0441	0.0495	0.0589
7	0.0373	0.0434	0.0547	0.0415	0.0473	0.0573
8	0.0476	0.0525	0.0609	0.0492	0.0539	0.0618
9	0.0454	0.0507	0.0597	0.0466	0.0517	0.0604
10	0.0449	0.0502	0.0594	0.0478	0.0527	0.0610

Sumber : Hasil Laboratorium, 2017

Tabel 4.6 Rekapitulasi Hasil Pengujian Hidrometer Bed load Bendung Jambewangi & Karangdoro

No	Jambewangi			Karangdoro		
	D10	D50	D65	D10	D50	D65
1	0.0420	0.0477	0.0577	0.0428	0.0483	0.0581
2	0.0444	0.0498	0.0591	0.0397	0.0457	0.0563
3	0.0384	0.0445	0.0554	0.0392	0.0452	0.0560
4	0.0432	0.0488	0.0584	0.0357	0.0420	0.0536
5	0.0384	0.0445	0.0554	0.0384	0.0445	0.0554
6	0.0459	0.0511	0.0599	0.0475	0.0525	0.0609
7	0.0465	0.0516	0.0603	0.0485	0.0533	0.0614
8	0.0480	0.0528	0.0611	0.0496	0.0542	0.0620
9	0.0477	0.0526	0.0610	0.0496	0.0543	0.0620
10	0.0468	0.0519	0.0605	0.0466	0.0517	0.0604

Sumber : Hasil Laboratorium, 2017

Menurut Ansar (2014) klasifikasi ukuran butir sedimen 0.032 – 0.063 mm dikategorikan pasir sangat halus (*very fine*) dari hasil yang ditunjukkan pada **Tabel 4.5 - 4.6** di atas, jenis sedimen pada keempat bendung bagian *upstream* di sungai-sungai besar tersebut termasuk dalam kategori pasir sangat halus seperti pada **Gambar 4.2**



Gambar 4.2 Sampel Muatan Bed Load (Dok., 2017)

4.2 Hasil Analisis Muatan Sedimen

4.2.1 Muatan Suspended load

a. Metode Engelund dan Hansen

Tabel 4.7 Rekapitulasi hasil perhitungan muatan *Suspended load* (q_{sw}) menggunakan rumus *Engelund* dan *Hansen*

Hari	Poncowati (ton/hari)	Gembleng (ton/hari)	Jambewangi (ton/hari)	Karangdoro (ton/hari)
1	3.713×10^{-5}	6.348×10^{-5}	1.096×10^{-5}	1.346×10^{-4}
2	1.144×10^{-5}	4.284×10^{-5}	3.587×10^{-4}	1.090×10^{-4}
3	1.433×10^{-5}	8.240×10^{-5}	1.306×10^{-5}	1.049×10^{-5}
4	4.126×10^{-4}	3.222×10^{-4}	8.417×10^{-5}	5.191×10^{-6}
5	4.428×10^{-4}	6.391×10^{-4}	7.092×10^{-6}	1.520×10^{-5}
6	2.975×10^{-5}	2.138×10^{-4}	2.397×10^{-5}	1.822×10^{-4}
7	1.274×10^{-5}	2.168×10^{-4}	1.196×10^{-4}	2.204×10^{-4}
8	6.219×10^{-5}	1.532×10^{-3}	3.256×10^{-4}	1.075×10^{-3}
9	2.757×10^{-4}	3.049×10^{-4}	1.688×10^{-4}	6.339×10^{-4}
10	4.799×10^{-5}	2.485×10^{-3}	8.793×10^{-5}	5.574×10^{-5}
Rata-rata	2.448×10^{-4}	5.902×10^{-4}	1.124×10^{-4}	8.855×10^{-4}

Sumber : Hasil Perhitungan, 2017

Dari **Tabel 4.7** didapatkan hasil rata-rata *suspended load* tertinggi pada Bendung Karangdoro = 8.855×10^{-4} ton/hari, sedangkan rata-rata *suspended load* terendah pada Bendung Jambewangi = 1.124×10^{-4} ton/hari. Menurut Peraturan Direktur Jenderal Rehabilitasi Lahan (2009) tingkat sedimentasi <2 ton/tahun dengan nilai skor 1 dikategorikan baik. Dari hasil yang didapatkan menggunakan rumus *Engelund* dan *Hansen* kondisi pada keempat bendung bagian *upstream* sungai-sungai besar tersebut masih dalam kategori yang baik.

b. Metode Einstein

Tabel 4.8 Rekapitulasi hasil perhitungan muatan *Suspended load* (q_{sw}) menggunakan rumus *Einstein*

Hari	Poncowati (ton/hari)	Gembleng (ton/hari)	Jambewangi (ton/hari)	Karangdoro (ton/hari)
1	0.790	2.688	1.096×10^{-5}	1.346×10^{-4}
2	0.399	3.599	3.587×10^{-4}	1.090×10^{-4}
3	0.729	2.622	1.306×10^{-5}	1.049×10^{-5}
4	0.193	0.685	8.417×10^{-6}	5.191×10^{-6}
5	0.347	1.242	7.092×10^{-6}	1.520×10^{-5}
6	0.238	2.185	2.397×10^{-5}	1.822×10^{-4}
7	0.530	1.764	1.196×10^{-4}	2.204×10^{-4}
8	2.455	1.686	3.256×10^{-4}	1.075×10^{-3}
9	0.858	4.825	1.688×10^{-4}	6.339×10^{-4}
10	1.289	0.931	8.793×10^{-5}	5.574×10^{-5}
Rata-rata	1.424	2.223	0.710	1.048

Sumber : Hasil Perhitungan, 2017

Dari **Tabel 4.8** didapatkan hasil rata-rata *suspended load* tertinggi pada Bendung Gembleng Sungai Bomo = 2.223 ton/hari, sedangkan rata-rata *suspended load* terendah pada Bendung Jambewangi = 0.710 ton/hari. Menurut Peraturan Direktur Jenderal Rehabilitasi Lahan (2009) tingkat sedimentasi 2-5 ton/tahun dengan nilai skor 3

dikategorikan sedang, dari hasil perhitungan menggunakan rumus *Einsten* menunjukkan bahwa pada Bendung Gembleng sudah memerlukan perawatan dengan cara menguras bendung.

c. Metode Chang Simons dan Richardson

Tabel 4.9 Rekapitulasi hasil perhitungan muatan *Suspended load* (q_{sw}) menggunakan rumus *Chang Simons* dan *Richardson*

Hari Ke	Poncowati (ton/hari)	Gembleng (ton/hari)	Jambewangi (ton/hari)	Karangdoro (ton/hari)
1	3.693×10^{-2}	-1.929×10^{-2}	-1.183×10^{-2}	4.948×10^{-3}
2	-2.978×10^{-2}	-8.099×10^{-2}	2.466×10^{-2}	3.961×10^{-3}
3	-4.544×10^{-2}	-3.580×10^{-2}	2.433×10^{-2}	-1.458×10^{-2}
4	3.256×10^{-2}	1.409×10^{-1}	-1.112×10^{-2}	-1.165×10^{-2}
5	4.285×10^{-2}	2.157×10^{-1}	3.057×10^{-2}	-9.399×10^{-3}
6	1.643×10^{-2}	2.707×10^{-2}	2.287×10^{-2}	3.369×10^{-3}
7	-2.879×10^{-2}	2.962×10^{-2}	1.386×10^{-2}	7.468×10^{-3}
8	-1.393×10^{-2}	4.914×10^{-1}	2.456×10^{-2}	8.052×10^{-3}
9	4.478×10^{-2}	6.042×10^{-1}	2.190×10^{-2}	6.731×10^{-3}
10	-1.330×10^{-2}	-2.574×10^{-2}	9.336×10^{-3}	9.950×10^{-3}
Rata-rata	4.231×10^{-3}	1.347×10^{-1}	1.491×10^{-2}	8.854×10^{-4}

Sumber : Hasil Perhitungan, 2017

Dari **Tabel 4.9** didapatkan hasil rata-rata *suspended load* tertinggi pada Bendung Gembleng Sungai Bomo = 1.347×10^{-1} ton/hari, sedangkan rata-rata *suspended load* terendah pada Bendung Karangdoro = 8.854×10^{-4} ton/hari. Hasil analisis yang bertanda negatif adalah akibat faktor dari nilai integritas I_1 dan I_2 yang didapat dari analisis grafik, hal tersebut disebabkan oleh muatan *suspended load* pada keempat bendung bagian *upstream* tergolong kategori debu. Menurut Peraturan Direktur Jenderal Rehabilitasi Lahan (2009) tingkat sedimentasi <2 ton/tahun dengan nilai skor 1 dikategorikan baik. Dari hasil yang didapatkan menggunakan rumus *Chang Simons* dan *Richardson* kondisi pada keempat bendung bagian *upstream* sungai-sungai besar tersebut masih dalam kategori yang baik.

4.2.2 Muatan Bed load

a. Meyer-Peter

Tabel 4.10 Rekapitulasi hasil perhitungan muatan *Bed load* (q_b) menggunakan rumus *Meyer-Peter*

Hari Ke	Poncowati (ton/hari)	Gembleng (ton/hari)	Jambewangi (ton/hari)	Karangdoro (ton/hari)
1	9.144×10^{-1}	0.165	4.790×10^{-1}	4.590×10^{-1}
2	9.154×10^{-1}	0.180	3.525×10^{-1}	4.359×10^{-1}
3	0.125	0.219	4.193×10^{-1}	5.921×10^{-1}
4	6.743×10^{-1}	0.109	2.408×10^{-1}	2.745×10^{-1}
5	9.491×10^{-1}	0.170	2.953×10^{-1}	4.078×10^{-1}
6	5.739×10^{-1}	0.127	2.446×10^{-1}	3.499×10^{-1}
7	9.069×10^{-1}	0.184	3.812×10^{-1}	5.491×10^{-1}
8	0.112	0.209	3.783×10^{-1}	5.405×10^{-1}
9	0.115	0.214	4.047×10^{-1}	5.816×10^{-1}
10	0.104	0.201	3.6388×10^{-1}	5.007×10^{-1}
Rata-rata	9.481×10^{-1}	0.178	3.559×10^{-1}	4.691×10^{-1}

Sumber : Hasil Perhitungan, 2017

Dari **Tabel 4.10** didapatkan hasil rata-rata *bed load* tertinggi pada Bendung Gembleng Sungai Bomo = 0.178 ton/hari, sedangkan rata-rata *bed load* terendah pada Bendung Jambewangi = 3.559×10^{-1} ton/hari. Menurut Peraturan Direktur Jenderal Rehabilitasi Lahan (2009) tingkat sedimentasi <2 ton/tahun dengan nilai skor 1 dikategorikan baik. Dari hasil yang didapatkan menggunakan rumus *Meyer-Peter* kondisi pada keempat bendung bagian *upstream* sungai-sungai besar tersebut masih dalam kategori yang baik dan belum perlu dilakukan pengerukan sedimen pada bendung.

b. Duboys

Tabel 4.11 Rekapitulasi hasil perhitungan muatan *Bed load* (q_b) menggunakan rumus *Dubois*

Hari Ke	Poncowati (ton/hari)	Gembleng (ton/hari)	Jambewangi (ton/hari)	Karangdoro (ton/hari)
1	-1.144	1.057	-1.084	-1.250
2	-1.140	-1.068	-1.089	-1.237
3	-1.143	-1.054	-1.067	-1.231
4	-1.149	-1.050	-1.082	-1.223
5	-1.149	-1.061	-1.066	-1.228
6	-1.132	-1.074	-1.100	-1.277
7	-1.135	-1.062	-1.101	-1.281
8	-1.178	-1.098	-1.109	-1.288
9	-1.169	-1.086	-1.108	-1.284
10	-1.165	-1.093	-1.104	-1.267
Rata-rata	-1.150	-1.070	-1.091	-1.257

Sumber : Hasil Perhitungan, 2017

Dari **Tabel 4.11** didapatkan hasil rata-rata *bed load* terendah pada Bendung Karangdoro sebesar -1.257 ton/hari, sedangkan hasil rata-rata *bed load* tertinggi pada Bendung Gembleng sebesar -1.070 ton/hari. Hasil analisis bertanda negatif adalah akibat faktor dari nilai koefisien sedimen dan tegangan gesek alas kritis, dan dari hasil diameter butir sedimen yang kecil. Dapat diambil simpulan bahwa muatan *bed load* pada keempat bendung bagian *upstream* tergolong kategori pasir sangat halus. Jadi analisis muatan *bed load* dengan rumus *Dubois* tidak cocok diterapkan untuk kondisi di sungai tersebut.

c. Shields

Dari **Tabel 4.12** didapatkan hasil rata-rata *bed load* tertinggi pada Bendung Karangdoro = 8.085×10^{-5} ton/hari, sedangkan rata-rata *bed load* terendah pada Bendung Bomo = -4.299×10^{-3} ton/hari. Hasil analisis bertanda negatif adalah faktor dari nilai tegangan gesek alas kritis yang didapat dari analisis grafik. Hal tersebut disebabkan oleh muatan *bed load* pada keempat bendung bagian *upstream* tergolong kategori pasir sangat halus, sehingga dengan perumusan *Shields* tidak cocok diterapkan untuk kondisi sungai tersebut. Perumusan *Shields* pada dasarnya cocok digunakan untuk kondisi muatan sedimen *bed rock*.

Tabel 4.12 Rekapitulasi hasil perhitungan muatan *Bed load* (q_b) menggunakan rumus *Shields*

Hari Ke	Poncowati (ton/hari)	Gembleng (ton/hari)	Jambewangi (ton/hari)	Karangdoro (ton/hari)
1	-7.322×10^{-2}	1.236×10^{-2}	1.225×10^{-3}	1.629×10^{-3}
2	-5.913×10^{-2}	1.993×10^{-2}	1.549×10^{-3}	1.870×10^{-3}
3	-1.085×10^{-1}	1.710×10^{-2}	1.083×10^{-5}	3.104×10^{-3}
4	-6.023×10^{-2}	5.296×10^{-3}	7.15×10^{-5}	1.171×10^{-3}
5	-1.047×10^{-1}	1.495×10^{-2}	6.09×10^{-5}	1.854×10^{-3}
6	-1.913×10^{-2}	1.455×10^{-2}	9.35×10^{-5}	2.82×10^{-5}
7	-4.404×10^{-2}	1.702×10^{-2}	1.630×10^{-3}	-5.07×10^{-6}
8	-0.183	-1.919×10^{-1}	-4.324×10^{-3}	-2.134×10^{-3}
9	-6.341×10^{-1}	4.095×10^{-2}	-2.386×10^{-3}	-7.61×10^{-5}
10	-4.003×10^{-1}	6.796×10^{-3}	1.064×10^{-3}	1.122×10^{-3}
Rata-rata	-3.329×10^{-1}	-4.299×10^{-3}	2.099×10^{-5}	8.085×10^{-5}

Sumber : Hasil Perhitungan, 2017

5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis besar muatan *suspended load* dan *bed load* pada keempat *upstream* bendung di Sungai-sungai Besar Kabupaten Banyuwangi didapatkan hasil :

- a. Muatan *Suspended load* pada Bendung Poncowati 2.45×10^{-4} ton/hari, Bendung Gembleng 5.90×10^{-4} ton/hari, Bendung Jambewangi 1.12×10^{-4} ton/hari, Bendung Karangdoro 8.85×10^{-4} ton/hari dari hasil analisis *Engelund* dan *Hansen*, karena muatan *suspended load* sesuai dengan penerapan kondisi eksisting sungai.
- b. Muatan *Bed load* pada Bendung Poncowati 9.48×10^{-1} ton/hari, Bendung Gembleng 0.1778 ton/hari, Bendung Jambewangi 3.56×10^{-1} ton/hari, Bendung Karangdoro 4.69×10^{-1} ton/hari dari hasil analisis *Meyer-Peter*, karena kondisi *bed load* sesuai dengan kondisi eksisting sungai.

Kondisi bendung masih dalam kategori baik, akan tetapi pada keempat bendung tersebut tetap diperlukan perawatan bendung dengan cara menguras sedimen bendung secara berkala untuk menjaga konstruksi bangunan utama dan bangunan pelengkap bendung tetap dalam kondisi baik.

Direkomendasikan adanya penjadwalan untuk pengurangan sedimen agar tidak terjadi pengendapan didaerah sekitar bendung. Selain itu perlu adanya penelitian lanjutan pada bagian hilir saat musim penghujan dan musim kemarau untuk bisa dijadikan pembandingan muatan sedimen.

DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Standar Nasional Indonesia 03-2401-1991 tentang pedoman perencanaan hidrologi dan hidraulik untuk bangunan sungai.
- [2.] Peraturan Direktur Jenderal Rehabilitasi Lahan Dan Perhutanan Sosial Nomor P.04 Tahun 2009 tentang Pedoman Monitoring Dan Evaluasi Daerah Aliran Sungai.

- [3.] Asdak, C. 2007. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University : Yogyakarta.
- [4.] Ansar, A.N. Arsyad, M. Dan Sulistiawaty. 2014. Studi Analisis Sedimentasi Di Sungai Pute Rammang-Rammang Kawasan Karst Maros. *Makasar : Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*. Vol 10:301-307
- [5.] Boangmanalu, A.O dan Indrawan. I. 2008. *Kajian Laju Angkutan Sedimen Pada Sungai Wampu*.
- [6.] Soemarto, C.D. 1987. *Hidrologi Teknik*. Usaha Nasional : Surabaya.
- [7.] Diansari, Rahma. 2014. Analisis Perhitungan Muatan (*Suspended Load*) Pada Muara Sungai Lilin Kabupaten Musi – Banyuasin. Vol.2, No.2 .