

# Evaluasi Keamanan Bendungan Telaga Tunjung dari Tinjauan Deformasi Vertikal Menggunakan Analisis Data Instrumentasi Patok Geser

Muhammad Fadhlurrahman Hazim\*, Sukamta, Suprpto

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,  
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

## Abstrak

*Bendungan Telaga Tunjung yang terletak di Provinsi Bali yang dibangun pada tahun 2003-2006. Pada tahun 2015 dan 2020 telah dilakukan survey bathimetri akibat jumlah sedimen telah memenuhi tampungan waduk hingga mengurangi umur layan waduk. Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi keamanan bendungan yang ditinjau dari deformasi vertikal dari data bacaan alat instrumentasi patok geser. Penelitian ini menggunakan data dari bacaan patok geser yang kemudian dianalisis nilai settlement index dan nilai deviasi yang dibandingkan dengan kriteria penerimaan yaitu 1% dari tinggi bendungan. Penelitian ini memakai data pada tahun 2006, 2007, 2017, dan 2022. Hasil dari penelitian ini pada tahun 2017 menunjukkan di daerah lereng hulu main dam dalam kondisi yang kurang aman karena nilai deviasi melebihi 1% dan nilai settlement index di atas 0,02, namun kondisi terakhir pada tahun 2022 deformasi vertikal bendungan dalam kondisi aman karena semua nilai deviasinya masih di bawah 1% dan nilai settlement index di bawah 0,02.*

**Kata kunci:** bendungan; deformasi; settlement; patok geser; sedimentasi

## Abstract

*[Title: Evaluation Dam Safety Telaga Tunjung Dam from Vertical Deformation Review Based on Data Analysis Surface Monument Measuring Devices] Telaga Tunjung Dam located in Bali Province had been constructed for 2003-2006. In 2015 and 2020, Telaga Tunjung Dam was held bathimetri survey due to the amount of sediment that almost fills the reservoir storage, thereby reducing the service life of the reservoir. The objective of this paper is to evaluate dam safety in terms of vertical deformation from data surface movement monument devices. The analysis used data from surface movement monument devices and calculated settlement index and value of deviation compared by acceptance criteria 1% of dam height. This research used data in 2006, 2007, 2017, and 2022. The result of analysis in 2017 indicated in slope upstream main dam in that there was a value of deviation exceed 1% and settlement index more than 0,02, recently in 2022 the vertical deformation of dam was in safe condition due to the value of deviation was under 1% and settlement index below 0,02.*

**Keywords:** dam; deformation; settlement; surface movement monument; sedimentation

## 1. Pendahuluan

Bendungan Telaga Tunjung terletak di Desa Timpag, Kecamatan Kerambitan, Kabupaten Tabanan, Provinsi Bali atau pada posisi 8033'30" LS dan 11507,20" BT. Secara hidrolis bendungan ini terletak di hilir pertemuan aliran Sungai Yeh Hoo sebagai sungai utama dan Sungai Yeh Mawa. Sungai Yeh Hoo

mempunyai bentuk yang berkelok-kelok, daerah tangkapan airnya sebesar 81,5 km<sup>2</sup> dengan panjang sungai 9,2 km yang mempunyai daerah irigasi seluas 2.410 ha membentang di sepanjang sungai. Fungsi utama bendungan untuk memenuhi kebutuhan irigasi dan air baku. Bendungan Telaga Tunjung selesai dibangun pada 20 Desember 2006 setelah melalui 4 tahap pembangunan konstruksi, dimulai pada tahun 2003–2006. Pengisian waduk dimulai 11 Januari 2007 waduk mulai diisi dan pada 20 Januari 2007 waduk segera penuh pada El.

\*) Penulis Korespondensi.

E-mail: hazimuhhammad@gmail.com

199,00 (muka air normal) dan air melimpas melalui pelimpah dengan tinggi air 0,40 m di atas mercu (BWS Bali Penida, 2018). Lokasi Bendungan Telaga Tunjung dapat dilihat di Gambar 1.

Tekanan air akibat dari tampungan waduk dapat mendorong ke arah tubuh bendungan sehingga berpotensi terjadinya deformasi bendungan (Istiaji et al., 2021). Mulai dari masa pembangunan, *impounding*, hingga selama beroperasi, bendungan yang memiliki potensi risiko yang besar wajib selalu dipastikan keamanannya dari sisi kegagalan struktur. Untuk itu dilakukan usaha yaitu dilakukan pemantauan keamanan bendungan dan analisis dari hasil bacaan alat instrumentasi yang kemudian dibandingkan dengan kriteria penerimaan (Hutami et al., 2023).

Akibat dari deformasi bendungan yang sering terjadi menurut USBR (2015) adalah hilangnya *freeboard*, struktur bangunan pelengkap yang ada di atas bendungan mengalami kerusakan, terjadi lendutan di puncak bendungan, terjadi retakan di bendungan urugan dan apabila terjadi di zona kedap air akan berpotensi terjadi kegagalan hidraulik, dan alat instrumentasi akan mengalami kerusakan. Sehingga menurut TADS (2011) usaha sederhana untuk mencegah deformasi adalah membangun geometri bendungan agak tidak teratur yang tidak mungkin dapat dilihat secara kasat mata.

Usaha menjaga bendungan ditinjau dari deformasinya menurut TADS (2011) adalah dilakukan perawatan dan pemeliharaan hingga monitoring dan evaluasi dengan rutin dan berkala. Pergerakan bendungan dapat dibagi menjadi tiga arah yaitu vertikal, horisontal, dan lateral. Karena menurut Puslitbang SDA dan Konstruksi (2017) pemantauan bendungan yang dikerjakan secara rutin dapat mengetahui kejadian yang dapat menimbulkan masalah pada bendungan sebelum terjadi kegagalan bendungan. Alat instrumentasi bendungan yang dapat memantau pergerakan tubuh



**Gambar 1.** Peta lokasi Bendungan Telaga Tunjung, Kabupaten Tabanan, Provinsi Bali

bendungan arah horisontal dan vertikal adalah patok geser yang biasanya diletakkan di puncak dan lereng bendungan menurut Hunter & Fell (2003).

Data hasil pengukuran bathimetri yang dilakukan BWS Bali Penida di Waduk Telaga Tunjung pada tahun 2007, 2015, dan 2020, diperoleh laju sedimentasi pada Waduk Telaga Tunjung periode tahun 2007 s.d. 2015 adalah sebesar 55,3 ribu m<sup>3</sup>/tahun dan khusus untuk tampungan mati, laju sedimentasinya sebesar 37,0 ribu m<sup>3</sup>/tahun. Selanjutnya, untuk periode 2015 s.d. 2020, laju sedimentasi waduk adalah sebesar 22 ribu m<sup>3</sup>/tahun dan khusus untuk tampungan mati sebesar 2,6 ribu m<sup>3</sup>/tahun. Dengan sisa volume tampungan mati sebesar 2 ribu m<sup>3</sup>, maka usia ekonomis waduk diprediksi tersisa 1 tahun lagi 2021. Oleh karena itu dari hasil pengukuran bathimetri di mana sedimentasi yang sudah hampir memenuhi tampungan mati maka penting dilakukan evaluasi keamanan bendungan yang ditinjau dari deformasi tubuh bendungan yang dianalisis dari data bacaan instrumentasi patok geser.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi keamanan Bendungan Telaga Tunjung yang ditinjau dari deformasi vertikal yang berdasarkan hasil pembacaan alat instrumentasi patok geser. Dari hasil tersebut data dianalisis dan dibandingkan dengan kriteria penerimaan, sehingga dapat ditarik kesimpulan kondisi keamanan Bendungan Telaga Tunjung yang ditinjau dari deformasinya akibat volume sedimentasi yang telah terjadi.

## 2. Bahan dan Metode

Bendungan Telaga Tunjung mendapatkan Persetujuan Desain dari Menteri Pekerjaan Umum pada

**Tabel 1.** Data teknis Bendungan Telaga Tunjung

No	Data	Keterangan
1	Sungai	Yeh Hoo
2	Elevasi Muka Air Banjir	+201,50 m
3	Elevasi Muka Air Normal	+199,00 m
4	Elevasi Muka Air Minimum	+190,70 m
5	Luas Waduk MAB	25,00 ha
6	Luas Waduk MAN	17,44 ha
7	Luas Waduk MAM	2,46 ha
8	Volume Tampungan MAB	1,255 juta m <sup>3</sup>
9	Volume Tampungan MAN	0,75 juta m <sup>3</sup>
10	Volume Tampungan Mati	0,06 juta m <sup>3</sup>
11	Volume Tampungan Efektif	0,69 juta m <sup>3</sup>
12	Tipe Bendungan	Urugan Zonal
13	Panjang mercu bendungan	250 m
14	Elevasi Puncak	+203,00 m
15	Tipe Pelimpah	Samping ogee tanpa pintu
16	Tinggi Bendungan	33 m

Sumber: (BWS Bali Penida, 2018)

tanggal 9 Juni 2005 sesuai sertifikasi nomor 05/KKB/M/2005, Izin Pengisian Awal Waduk dari Menteri Pekerjaan Umum pada tanggal 25 April 2007 sesuai sertifikasi nomor 02/KKB/M/2007 dan Izin Operasi Bendungan dari Menteri Pekerjaan Umum pada tanggal 28 Februari 2014 nomor PR.01.04-Mn/109. Tabel 1 menjelaskan tentang data teknis Bendungan Telaga Tunjung.

Data yang diperlukan dalam mengevaluasi perilaku deformasi vertikal Bendungan Telaga Tunjung antara lain data teknis bendungan, *as built drawing* bendungan, *layout* instrumentasi, detail instrumentasi, dan data pemantauan instrumentasi. Instrumentasi yang digunakan dalam menganalisis deformasi vertikal adalah patok geser. Data pemantauan yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan dari data patok geser tahun 2007 s/d 2022 yang dicatat oleh BWS Bali Penida.

Bendungan Telaga Tunjung memiliki Patok geser yang terpasang sebanyak 19 buah, dengan rincian lokasi dan dapat dilihat di gambar 2, yakni: (1) Lereng Hulu 4 buah; (2) Lereng Hilir 4 buah; (3) Puncak *Main Dam* 8 buah; dan (4) Puncak *Cofferdam* Hilir 3 buah.

**2.1 Pemantauan Perilaku Deformasi Bendungan**

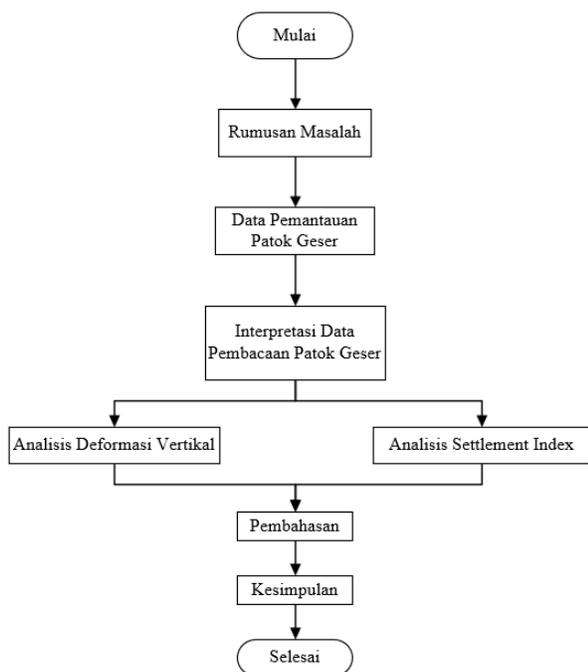
Bendungan yang telah beroperasi pada umumnya akan mengalami deformasi pada tubuh bendungan tersebut, hal ini disebabkan oleh beberapa kejadian yaitu akibat tekanan air pada inti bagian hulu yang dapat meningkatkan tegangan lateral sehingga menjadi beban pada bendungan, tekanan air pada sisi hulu di fondasi,

tegangan efektif material timbunan yang mengalami penurunan, kuat geser dan modulus elastis yang berkurang sehingga terjadi pelapukan (Rashidi & Haeri, 2017).

Deformasi pada tubuh bendungan pada umumnya memiliki pola yang cenderung bergerak ke arah bawah dan hulu pada tubuh bendungan bagian hulu, sedangkan bagian hilir bergerak ke arah bawah dan hilir. Selain itu, pada puncak bendungan akan mengalami deformasi ke arah bawah dan hulu apabila pada saat pengisian awal dan ke arah hilir jika air waduk sudah mengalami limpah di bagian pelimpah (USBR, 2011).

Menurut beberapa penelitian deformasi dapat dipantau menggunakan alat instrumentasi patok geser yang terpasang di tubuh bendungan. Patok geser dipasang di puncak dan lereng bendungan yang dapat diatur dengan mempertimbangkan pada saat pengukuran yang menggunakan alat ukur (Pratomo et al., 2021).

Instrumentasi bendungan berupa patok geser umumnya digunakan untuk mengukur pergerakan luar tubuh bendungan secara vertikal dan horisontal. Suatu pergerakan timbunan bendungan yang bergerak secara vertikal disebut *settlement* dan horisontal disebut *displacement*, kedua arah pergerakan ini mampu



Gambar 2. Bagan alir penelitian

Tabel 2. Deviasi nilai pembacaan patok geser arah vertikal tahun 2007 ke tahun 2006 (BWS Bali Penida, 2018)

Patok Geser	2006	2007	Deviasi
	Z (m)	Z (m)	
S-US1	200,114	199,990	-0,124
S-US2	200,075	199,938	-0,137
S-US3	200,052	199,918	-0,134
S-US4	200,051	199,928	-0,123
C-MD1	203,300	203,274	-0,026
C-MD2	202,900	202,880	-0,020
C-MD3	203,175	203,160	-0,015
C-MD4	203,580	203,534	-0,046
C-MD5	203,570	203,512	-0,058
C-MD6	203,620	203,576	-0,044
C-MD7	202,980	202,969	-0,011
C-MD8	202,525	202,496	-0,029
S-DS1	200,675	200,624	-0,051
S-DS2	200,655	200,601	-0,054
S-DS3	200,630	200,572	-0,058
S-DS4	200,640	200,606	-0,034
C-CD1	184,985	184,979	-0,006
C-CD2	184,995	184,992	-0,003
C-CD3	184,990	184,986	-0,004

diketahui nilainya dengan alat instrumentasi patok geser (USBR, 2014).

Beberapa bendungan di Indonesia umumnya patok geser diamati minimal satu tahun sekali jika tidak ada kejadian yang dapat mengganggu kestabilan tubuh bendungan seperti gempa. Dari hasil setiap pengamatan patok geser akan selalu dibandingkan dengan hasil pengamatan awal sehingga diketahui nilai deviasi pengukuran baru dengan awal. Kemudian nilai deviasi ini yang akan dibandingkan oleh beberapa kriteria penerimaan deformasi bendungan urugan tanah menurut Hunter & Fell (2003), Fell et al. (2015), USBR (2011), dan Kutzner (1997) adalah tidak melebihi 1% dari tinggi bendungan.

Menurut Novak et al. (2007) evaluasi deformasi vertikal dapat dilakukan dengan perhitungan *settlement index* yang tidak boleh melebihi atau sama dengan 0,02. Berikut ini rumus perhitungan *settlement index* dapat dilihat di Persamaan 1.

$$S_1 = \frac{\Delta s}{1000 \cdot H \cdot \log\left(\frac{t_2}{t_1}\right)} \quad (1)$$

dengan  $\Delta s$  adalah selisih pengukuran baru dan awal (m), H adalah tinggi bendungan (m),  $t_1$  adalah waktu dari selesainya bendungan sampai pengamatan pertama (tahun), dan  $t_2$  adalah waktu dari selesainya bendungan sampai pengamatan kedua (tahun).

**Tabel 3.** Deviasi patok geser dari pembacaan tahun 2006 dan 2007 yang dibandingkan dengan kriteria penerimaan

Patok Geser	Deviasi	Persentase*	KP
	Z (m)	(%)	(<1%)
S-US1	-0,124	0,376	Memenuhi
S-US2	-0,137	0,415	Memenuhi
S-US3	-0,134	0,406	Memenuhi
S-US4	-0,123	0,373	Memenuhi
C-MD1	-0,026	0,079	Memenuhi
C-MD2	-0,02	0,061	Memenuhi
C-MD3	-0,015	0,045	Memenuhi
C-MD4	-0,046	0,139	Memenuhi
C-MD5	-0,058	0,176	Memenuhi
C-MD6	-0,044	0,133	Memenuhi
C-MD7	-0,011	0,033	Memenuhi
C-MD8	-0,029	0,088	Memenuhi
S-DS1	-0,051	0,155	Memenuhi
S-DS2	-0,054	0,164	Memenuhi
S-DS3	-0,058	0,176	Memenuhi
S-DS4	-0,034	0,103	Memenuhi
C-CD1	-0,006	0,018	Memenuhi
C-CD2	-0,003	0,009	Memenuhi
C-CD3	-0,004	0,012	Memenuhi

\*terhadap tinggi bendungan.

## 2.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dikerjakan berdasarkan latar belakang masalah yang terjadi di lokasi penelitian yang menghasilkan rumusan masalah. Langkah selanjutnya yaitu dilanjutkan dengan mengumpulkan data pemantauan instrumentasi patok geser dan dilanjutkan interpretasi data tersebut. Selanjutnya dilakukan proses analisis data deformasi vertikal dan *settlement index* dengan membandingkan dengan kriteria penerimaan. Analisis tersebut dapat dilanjutkan dengan pembahasan dan akhirnya dapat ditarik kesimpulan dari hasil penelitian ini. Gambar 2 menggambarkan bagan alir tahapan penelitian yang akan dilakukan.

## 2.3 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini dibutuhkan data dari instrumentasi bendungan patok geser Bendungan Telaga Tunjung pada tahun awal hingga terkini. Data tersebut adalah nilai bacaan dari alat ukur dari sumbu x, y, dan z. kemudian dari data tersebut dilakukan proses sehingga menjadi tampilan visual grafik sehingga dapat dilakukan analisis.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Tahun 2006 adalah tahun selesainya masa konstruksi bendungan ini, sehingga tahun 2006 menjadi nilai pembanding awal dari data patok geser. Pada tahun 2007 dilakukan pembacaan tahun pertama yang nilai deviasinya dapat dilihat di tabel 2

**Tabel 4.** Nilai *Settlement Index* tahun 2007.

Patok Geser	<i>Settlement Index</i>	Kategori
		(≤0,02)
S-US1	0,0125	Memenuhi
S-US2	0,0138	Memenuhi
S-US3	0,0135	Memenuhi
S-US4	0,0124	Memenuhi
C-MD1	0,0026	Memenuhi
C-MD2	0,0020	Memenuhi
C-MD3	0,0015	Memenuhi
C-MD4	0,0046	Memenuhi
C-MD5	0,0058	Memenuhi
C-MD6	0,0044	Memenuhi
C-MD7	0,0011	Memenuhi
C-MD8	0,0029	Memenuhi
S-DS1	0,0051	Memenuhi
S-DS2	0,0054	Memenuhi
S-DS3	0,0058	Memenuhi
S-DS4	0,0034	Memenuhi
C-CD1	0,0006	Memenuhi
C-CD2	0,0003	Memenuhi
C-CD3	0,0004	Memenuhi

**Tabel 8.** Deviasi nilai pembacaan patok geser arah vertikal tahun 2017 ke tahun 2006 (BWS Bali Penida, 2022)

Patok Geser	2006	2017	Deviasi
	Z (m)	Z (m)	Z (m)
S-US1	200,114	201,182	1,068
S-US2	200,075	201,123	1,048
S-US3	200,052	201,104	1,052
S-US4	200,051	201,135	1,084
C-MD1	203,300	203,263	-0,037
C-MD2	202,900	202,861	-0,039
C-MD3	203,175	203,136	-0,039
C-MD4	203,580	203,511	-0,069
C-MD5	203,570	203,480	-0,090
C-MD6	203,620	203,537	-0,083
C-MD7	202,980	202,927	-0,053
C-MD8	202,525	202,479	-0,046
S-DS1	200,675	200,608	-0,067
S-DS2	200,655	200,565	-0,090
S-DS3	200,630	200,526	-0,104
S-DS4	200,640	200,571	-0,069
C-CD1	184,985	184,980	-0,005
C-CD2	184,995	184,989	-0,006
C-CD3	184,990	184,975	-0,015

**Tabel 9.** Nilai *settlement index* tahun 2017.

Patok Geser	Settlement Index	Kategori
		( $\leq 0,02$ )
S-US1	0,0311	TM
S-US2	0,0305	TM
S-US3	0,0306	TM
S-US4	0,0315	TM
C-MD1	0,0011	Memenuhi
C-MD2	0,0011	Memenuhi
C-MD3	0,0011	Memenuhi
C-MD4	0,0020	Memenuhi
C-MD5	0,0026	Memenuhi
C-MD6	0,0024	Memenuhi
C-MD7	0,0015	Memenuhi
C-MD8	0,0013	Memenuhi
S-DS1	0,0019	Memenuhi
S-DS2	0,0026	Memenuhi
S-DS3	0,0030	Memenuhi
S-DS4	0,0020	Memenuhi
C-CD1	0,0001	Memenuhi
C-CD2	0,0002	Memenuhi
C-CD3	0,0004	Memenuhi

Tabel 2, kemudian dari nilai deviasi vertikal (z) akan dibandingkan dengan nilai kriteria penerimaan yaitu kurang dari 1% dari tinggi bendungannya. Hasil dari nilai

**Tabel 5.** Deviasi patok geser dari pembacaan tahun 2006 dan 2017 yang dibandingkan dengan kriteria penerimaan

Patok Geser	Deviasi	Persentase	KP
	Z (m)	(%)	(<1%)
S-US1	1,068	3,236	TM
S-US2	1,048	3,176	TM
S-US3	1,052	3,188	TM
S-US4	1,084	3,285	TM
C-MD1	-0,037	0,112	Memenuhi
C-MD2	-0,039	0,118	Memenuhi
C-MD3	-0,039	0,118	Memenuhi
C-MD4	-0,069	0,209	Memenuhi
C-MD5	-0,09	0,273	Memenuhi
C-MD6	-0,083	0,252	Memenuhi
C-MD7	-0,053	0,161	Memenuhi
C-MD8	-0,046	0,139	Memenuhi
S-DS1	-0,067	0,203	Memenuhi
S-DS2	-0,09	0,273	Memenuhi
S-DS3	-0,104	0,315	Memenuhi
S-DS4	-0,069	0,209	Memenuhi
C-CD1	-0,005	0,015	Memenuhi
C-CD2	-0,006	0,018	Memenuhi
C-CD3	-0,015	0,045	Memenuhi

**Tabel 6.** Deviasi nilai pembacaan patok geser arah vertikal tahun 2022 ke tahun 2006 (BWS Bali Penida, 2022)

Patok Geser	2006	2022	Deviasi
	Z (m)	Z (m)	Z (m)
S-US1	200,114	199,984	-0,130
S-US2	200,075	199,927	-0,148
S-US3	200,052	199,874	-0,178
S-US4	200,051	199,898	-0,153
C-MD1	203,300	203,300	0,000
C-MD2	202,900	202,891	-0,009
C-MD3	203,175	203,300	0,125
C-MD4	203,580	203,652	0,072
C-MD5	203,570	203,635	0,065
C-MD6	203,620	203,697	0,077
C-MD7	202,980	203,100	0,120
C-MD8	202,525	202,646	0,121
S-DS1	200,675	200,757	0,082
S-DS2	200,655	200,707	0,052
S-DS3	200,630	200,662	0,032
S-DS4	200,640	200,716	0,076
C-CD1	184,985	185,140	0,155
C-CD2	184,995	185,148	0,153
C-CD3	184,990	185,129	0,139

yang dibandingkan kriteria penerimaan ini dapat dilihat pada Tabel 3. Setelah itu apabila ditinjau dari nilai *settlement index* dari nilai deviasi vertikal (z) tersebut

Patok Geser	Settlement Index	Kategori
	( $\leq 0,02$ )	
S-US1	0,0033	Memenuhi
S-US2	0,0037	Memenuhi
S-US3	0,0045	Memenuhi
S-US4	0,0039	Memenuhi

**Tabel 10.** Deviasi patok geser dari pembacaan tahun 2006 dan 2022 yang dibandingkan dengan kriteria penerimaan

Patok Geser	Deviasi	Persentase	KP
	Z (m)	(%)	(<1%)
S-US1	-0,130	0,394	Memenuhi
S-US2	-0,148	0,448	Memenuhi
S-US3	-0,178	0,539	Memenuhi
S-US4	-0,153	0,464	Memenuhi
C-MD1	0,000	0,000	Memenuhi
C-MD2	-0,009	0,027	Memenuhi
C-MD3	0,125	0,379	Memenuhi
C-MD4	0,072	0,218	Memenuhi
C-MD5	0,065	0,197	Memenuhi
C-MD6	0,077	0,233	Memenuhi
C-MD7	0,120	0,364	Memenuhi
C-MD8	0,121	0,367	Memenuhi
S-DS1	0,082	0,248	Memenuhi
S-DS2	0,052	0,158	Memenuhi
S-DS3	0,032	0,097	Memenuhi
S-DS4	0,076	0,230	Memenuhi
C-CD1	0,155	0,470	Memenuhi
C-CD2	0,153	0,464	Memenuhi
C-CD3	0,139	0,421	Memenuhi

dapat dilihat tabel 4. Dapat dilihat pada tahun pertama pengamatan semua nilai patok geser masih dalam kriteria penerimaan yaitu kurang dari 1%. Selain itu, jika dilihat dari semua nilai *settlement index* hasil pengamatan patok gesernya masih memenuhi yaitu kurang dari 0,02.

Tahun 2017 data pembacaan patok geser diambil dan dianalisis, mengingat pada tahun 2015 telah dilakukan survey bathimetri. Sehingga hasil pembacaan patok geser dapat mencerminkan kondisi paska survey bathimetri. Nilai deviasinya dapat dilihat pada tabel 5. Dapat dilihat juga pada tabel 6 dan tabel 7 patok geser yang berada di lereng hulu main dam (S-US1, S-US2, S-US3, S-US4) mengalami *settlement* yang melebihi nilai kriteria penerimaan dan *settlement index*.

Kenaikan elevasi yang terjadi pada tahun 2017 pada lereng hulu main dam (S-US1, S-US2, S-US3, S-US4) ini juga terjadi juga pada bendungan yang diteliti oleh Pratomo et al. (2021) dan Suhada et al. (2022) Secara teori kenaikan elevasi pada timbunan tubuh bendungan ini didasari berdasarkan beberapa penyebab yaitu: adanya gaya hidraulik pada tubuh bendungan dari hulu ke hilir yang berimbas pada gaya ke atas pada urugan (Ravindra et al., 2021); atau kejadian gempa yang dapat mempengaruhi kepadatan material urugan (Kim et al., 2011).

Hasil pembacaan tahun 2022 data patok geser diambil lalu dijadikan dasar dari evaluasi keamanan

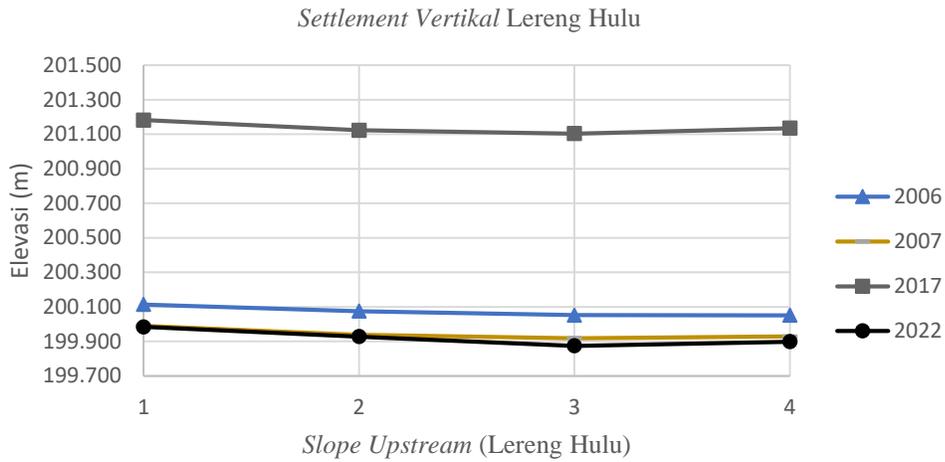
**Tabel 11.** Nilai *settlement index* tahun 2022.

Patok Geser	Settlement Index	Kategori
		(<0,02)
S-US1	0,0033	Memenuhi
S-US2	0,0037	Memenuhi
S-US3	0,0045	Memenuhi
S-US4	0,0039	Memenuhi
C-MD1	0,0000	Memenuhi
C-MD2	0,0002	Memenuhi
C-MD3	0,0031	Memenuhi
C-MD4	0,0018	Memenuhi
C-MD5	0,0016	Memenuhi
C-MD6	0,0019	Memenuhi
C-MD7	0,0030	Memenuhi
C-MD8	0,0030	Memenuhi
S-DS1	0,0021	Memenuhi
S-DS2	0,0013	Memenuhi
S-DS3	0,0008	Memenuhi
S-DS4	0,0019	Memenuhi
C-CD1	0,0039	Memenuhi
C-CD2	0,0039	Memenuhi
C-CD3	0,0035	Memenuhi

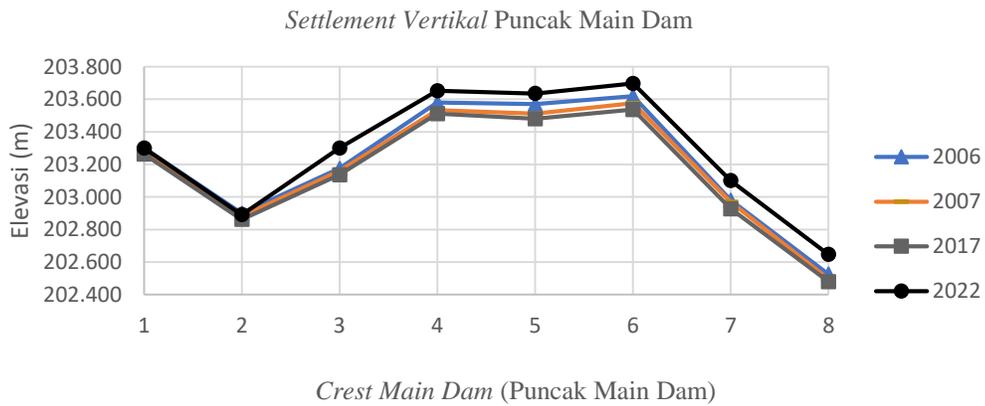
Bendungan Telaga Tunjung yang ditinjau dari deformasi karena data tersebut adalah data yang terbaru. Dapat dilihat pada tabel 8 nilai patok geser tahun 2022 dan deviasinya terhadap tahun 2006. Tabel 9 dan Tabel 10 jika nilainya dibandingkan dengan kriteria penerimaan dan nilai *settlement index*, dapat disimpulkan bahwa seluruh nilai deviasi patok geser memenuhi dari kriteria penerimaan 1% dan nilai *settlement index* di bawah 0,02. Hal menunjukkan keamanan Bendungan Telaga Tunjung jika ditinjau dari deformasi vertikalnya masih dalam kategori aman karena nilai deviasinya masih berada dalam kriteria penerimaan dan nilai *settlement index* kurang dari 0,02.

Penurunan yang terjadi pada beberapa patok geser menunjukkan telah terjadi penurunan tanah pada area tersebut. Penurunan tanah ini dimungkinkan akibat dari beban tambahan sedimentasi yang terjadi di bendungan tersebut. Hal ini sesuai pola yang telah disebutkan oleh (USBR, 2011) yaitu pola penurunan tanah di area lereng hulu tubuh bendungan mengarah ke bawah dan ke hulu.

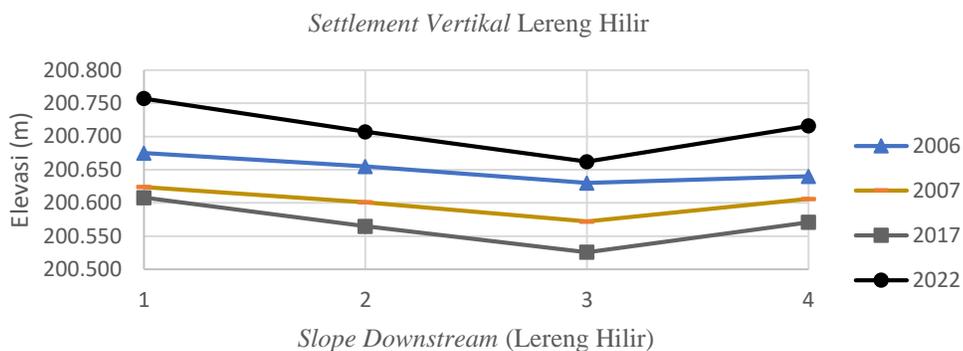
Tabel 2, 5, dan 8 dapat digambarkan pada grafik dari masing-masing patok geser dengan nilai elevasinya pada tahun 2006, 2007, 2017, dan 2022 seperti yang dapat dilihat pada gambar 3, 4, 5, dan 6. Pada gambar 3 nilai *settlement* vertikal di lereng hulu terlihat sedikit berbeda polanya dibandingkan dengan grafik yang lain. Pada area lereng hulu pada tahun pertama mengalami kenaikan elevasi, lalu pada tahun 2022 nilai elevasi patok geser



Gambar 3. Grafik elevasi data pembacaan patok geser tahun 2006, 2007, 2017, dan 2022 di area lereng hulu



Gambar 4. Grafik elevasi data pembacaan patok geser tahun 2006, 2007, 2017, dan 2022 di area puncak main dam



Gambar 5. Grafik elevasi data pembacaan patok geser tahun 2006, 2007, 2017, dan 2022 di area lereng hilir

turun berada di bawah pembacaan awal patok geser tahun 2006. Sebaliknya pada grafik gambar 4, 5, dan 6 nilai pembacaan elevasi patok geser pada tahun 2022 konsisten berada paling tinggi dari tahun-tahun sebelumnya.

#### 4. Kesimpulan

Hasil dari penelitian ini hampir seluruh dari data patok geser pada tahun 2007, 2017, dan tahun 2022 nilai deviasi deformasi vertikalnya berada di bawah 1% dari

tinggi bendungan. Nilai *settlement index* juga hampir semuanya berada di bawah 0,02. Tahun 2017 di area lereng hulu memiliki hasil sedikit yang berbeda dari tahun-tahun sebelumnya. Hasil pembacaan pada lereng hulu menunjukkan bahwa kondisi elevasi tanah tersebut terjadi kenaikan. Kejadian ini diindikasikan akibat kondisi sedimentasi yang memberi gaya tekanan pada lereng hulu seperti yang telah terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh (Ravindra et al., 2021). Hal ini selaras dari data hasil survei bathimetri yang telah dilakukan oleh BWS Bali Penida pada tahun 2015 bahwa pada tahun tersebut telah terjadi sedimentasi sebesar 55,3 ribu m<sup>3</sup>/tahun. Data pembacaan patok geser tahun 2022 mengalami penurunan kembali dan nilai deviasi deformasi vertikal berada di bawah 1% dan nilai *settlement index* di bawah 0,02, sehingga kondisi terakhir Bendungan Telaga Tunjung jika ditinjau dari aspek deformasi vertikalnya berada dalam kondisi aman.

#### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada pihak-pihak yang mendukung dalam penelitian ini terutama dari BWS Bali Penida yang berkenan membantu dalam menyediakan data dan informasi.

#### Daftar Pustaka

- BWS Bali Penida. (2018). *Laporan Akhir Special Study Bendungan Palasari, Benel, Gerokgak, dan Telaga Tunjung di Provinsi Bali*.
- Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, D., Bell, G., & Foster, M. (2015). *Geotechnical Engineering of Dams Second Edition*.
- Hunter, G., & Fell, R. (2003). *The Deformation Behaviour of Embankment Dams*. The University of New South Wales.
- Hutami, R. S., Nugroho, H., & Edhisono, S. (2023). Evaluasi Perilaku Deformasi Vertikal Bendungan Sermo Berdasarkan Data Instrumentasi Geoteknik. *Jurnal RAB Construction Research*.
- Istiaji, M. S., Sriyana, & Sadono, K. W. (2021). Analisis Perilaku Deformasi Bendungan Bajulmati dengan Metode Penilaian Berdasarkan Database Sejarah Bendungan. *Jurnal Teknik*, 186–198.
- J.A., C. (1986). The Significance of Problems and Remedial Works at British Eart Dams. *Proceedings of the Conference on Reservoirs '86*, 123–141.
- Kim, M. K., Lee, S. H., Choo, Y. W., & Kim, D. S. (2011). Seismic behaviors of earthcore and concrete-faced rock-fill dams by dynamic centrifuge tests. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 1579–1593.
- Kutzner, C. (1997). *Earth and Rockfill Dams*. A.A Balkema.
- Novak, P., Moffat, I., Nalluri, C., & Narayanan, R. (2007). *Hydraulic Structures*. Taylor & Francis.
- Pratomo, D. P., Suharyanto, & Atmojo, P. S. (2021). Deformasi Bendungan Cirata Berdasarkan Analisis Data Instrumen Patok Geser. *Jurnal Teknik*, 96–106.
- Puslitbang SDA dan Konstruksi. (2017). *Modul Pengaturan dan Konsepsi Keamanan Bendungan*. BPSDM PUPR.
- Rashidi, M., & Haeri, S. M. (2017). Evaluation of Behaviors of Earth and Rockfill Dams During Construction and Initial Impounding Using Instrumentation Data and Numerical Modeling. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 709–725.
- Ravindra, G. H., Sigtryggdottir, F. G., & Lia, L. (2021). Buckling Analogy for 2D Deformation of Placed Ripraps Exposed to Overtopping. *Journal of Hydraulic Research*, 109–119.
- Suhada, B., Nugroho, H., & Suprpto. (2022). Evaluasi Perilaku Deformasi Vertikal Bendungan Saguling. *Jurnal Ilmiah Indonesia*.
- TADS, T. A. (2011). *Evaluation of Embankment Dam Stability and Deformation*. U.S Committee on Large Dams.
- USBR. (2011). *Design Standard Embankment Dams No.13, Chapter 9: Static Deformation Analysis Phase 4 Final*. USBR.
- USBR. (2014). *Design Standards No.13 Embankment Dams Chapter 11: Instrument and Monitoring Phase 4 Final*. USBR.
- USBR. (2015). *Design Standard Embankment Dams No.13, Chapter 13: Seismic Design and Analysis*. USBR.