



EVALUASI PERILAKU DEFORMASI VERTIKAL BENDUNGAN SERMO BERDASARKAN DATA INSTRUMENTASI GEOTEKNIK

Rizka Sartika Hutami¹, Hari Nugroho², Sutarto Edhisono³

^{1,2,3}Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

e-mail: sartika.izka@gmail.com

Info Artikel

Abstrak

Sejarah Artikel:

Diterima: Okt 2022

Disetujui: Feb 2023

Dipublikasikan: Juni 2023

Keywords:

Rockfill Dam, Vertical Deformation, Instrumentation

Deformasi vertikal bendungan merupakan salah satu parameter yang penting untuk dievaluasi baik pada periode konstruksi maupun paska konstruksi. Perilaku deformasi abnormal dapat mengakibatkan berbagai permasalahan yang mengancam keamanan bendungan. Evaluasi menjadi sangat penting untuk dilakukan terutama pada Bendungan Sermo yang telah mengalami pembebanan selama lebih dari 25 tahun sehingga dapat diketahui perilakunya. Identifikasi perilaku normal atau abnormal dilakukan dengan cara mengevaluasi hasil analisis deformasi vertikal berdasarkan data pembacaan instrumentasi terhadap kriteria penerimaan. Pada periode konstruksi, korelasi *vertical strain* terhadap *depth below crest* menghasilkan perilaku abnormal. Namun, evaluasi terhadap *settlement* yang terjadi menghasilkan perilaku normal. Pada periode paska konstruksi, evaluasi dengan kriteria Sherard [1] dan ICOLD [2] menghasilkan kondisi abnormal pada elevasi tertentu. Namun, evaluasi berdasarkan *settlement index* serta kriteria penerimaan Sowers [3] dan Hunter dan Fell [2] menghasilkan kondisi normal.

Kata Kunci: Bendungan Urugan, Deformasi Vertikal, Instrumentasi

Abstract

The vertical deformation of the dam is one of the important parameters to be evaluated both during the construction and post-construction periods. Abnormal deformation behavior can cause various problems that threaten the safety of the dam. Evaluation is very important to do, especially on the Sermo Dam which has been loaded for more than 25 years to know its behavior. Identification of abnormal behavior is done by evaluating the results of the vertical deformation analysis based on the instrumentation reading data against the acceptance criteria. In the construction, the vertical strain value compared with the depth below crest value resulted in abnormal behavior. However, evaluation of the settlement that occurs results in normal behavior. In the post-construction, evaluation with Sherard [1] and ICOLD [2] criteria resulted in abnormal conditions at certain elevations. However, evaluation based on the settlement index and acceptance criteria of Sowers [3] and Hunter and Fell [2] resulted in normal conditions.

Keywords: Rockfill Dam, Vertical Deformation, Instrumentation

PENDAHULUAN

Salah satu penyebab terjadinya kegagalan bendungan adalah adanya perilaku deformasi yang abnormal. Semua bendungan akan mengalami deformasi secara vertikal maupun horisontal akibat adanya pembebanan baik beban struktur sendiri, beban air waduk, dan beban lain yang berkontribusi. Namun, jika deformasi melebihi batas toleransi maka akan menimbulkan bahaya seperti retak, rembesan berlebih, rekahan hidrolis, berkurang atau hilangnya *freeboard* yang dapat menyebabkan limpas dan akhirnya bendungan runtuh [4].

Bendungan Sermo dibangun pada tahun 1995 sehingga telah mengalami pembebanan selama lebih dari 25 tahun. Adanya faktor usia struktur, lama pembebanan, serta tindakan pemeliharaan dan pengoperasian bendungan dapat menyebabkan resiko kegagalan Bendungan Sermo semakin meningkat. Oleh sebab itu, evaluasi terhadap perilaku bendungan menjadi sangat penting untuk dilakukan agar keamanan bendungan terjamin.

Bendungan sebagai konstruksi dengan tingkat resiko tinggi harus dipastikan aman terhadap kegagalan struktur baik pada masa konstruksi, pengisian awal, maupun sepanjang masa layan. Pemantauan keamanan bendungan dilakukan dengan mengevaluasi hasil analisis atau interpretasi bacaan suatu instrumentasi terhadap instrumentasi lainnya dan terhadap kriteria penerimaan. Normal atau tidaknya perilaku bendungan dapat diketahui dengan membandingkan perilaku suatu bendungan dengan perilaku beberapa bendungan lainnya yang memiliki karakteristik yang sama. Perilaku deformasi Bendungan Sermo dari data instrumentasi dievaluasikan terhadap kriteria penerimaan deformasi berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Gavan Hunter dan Robin Fell tahun 2003.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis perilaku deformasi vertikal Bendungan Sermo dengan mengevaluasi nilai *settlement* yang terjadi terhadap kriteria penerimaan. Sehingga, diharapkan dapat diketahui keamanan Bendungan Sermo terhadap ancaman perilaku deformasi yang terjadi.

TINJAUAN PUSTAKA

Kriteria penerimaan deformasi didasarkan pada perilaku deformasi dari berbagai bendungan dengan kelompok karakteristik yang sama. Banyak peneliti telah melakukan analisis terhadap perilaku deformasi bendungan. Hunter dan Fell [2], telah melakukan analisis perilaku deformasi bendungan terhadap 134 bendungan, termasuk diantaranya bendungan urugan batu.

Hunter dan Fell [2], dalam penelitiannya membagi perilaku deformasi bendungan kedalam kategori tipe bendungan dan kategori kondisi pembebanan, yaitu masa konstruksi dan paska

konstruksi (pengisian pertama dan masa layan). Perilaku normal dan abnormal bendungan selama konstruksi sampai akhir konstruksi dapat diidentifikasi dengan mengevaluasi besaran penurunan total dan regangan vertikal yang terjadi.

Regangan yang terjadi dalam tanah disebabkan oleh dua akibat, yaitu berubahnya susunan tanah dan berkurangnya rongga pori di dalam tanah tersebut [5]. Korelasi dari regangan vertikal terhadap tinggi timbunan selama atau akhir konstruksi untuk bendungan inti lempung dinyatakan dengan rumus:

$$Vertical\ strain(\%) = \frac{\Delta S}{S_0} \times 100\% \tag{1}$$

Dimana ΔS adalah selisih dari jarak antar magnet saat *initial reading* (S_0) dengan jarak antar magnet saat observasi (S_1).

Jumlah dari regangan diseluruh kedalaman lapisan tanah merupakan penurunan total tanah [5]. Korelasi dari penurunan total atau *total settlement* terhadap tinggi bendungan pada akhir konstruksi untuk bendungan inti lempung dinyatakan dengan rumus:

$$Settlement\ (mm) = H(0,152H + 12,60) \tag{2}$$

dan

$$Settlement(\%) = 0,179H^{0,60} \tag{3}$$

Dimana H adalah tinggi bendungan (m) pada akhir timbunan.

Pada masa setelah konstruksi berakhir, evaluasi deformasi vertikal terkonsentrasi pada penurunan puncak bendungan. Kriteria penerimaan penurunan puncak bendungan menurut [2] dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Kriteria penerimaan penurunan puncak bendungan paska konstruksi [2]

Core Width	Core Properties		Crest Settlement (% of dam height)		
	Class	Moisture content	3 years	10 years	20 - 25 years
Thin to medium	CL/CH	Dry	0,05 – 0,55	0,10 – 0,65	0,20 – 0,95
		Wet	0,04 – 0,75	0,08 – 0,95	0,20 – 1,10
	SC/GC	Dry	0,10 – 0,25	0,10 – 0,40	< 0,5
		Wet	0,15 – 0,80	0,20 – 1,10	< 1,1
Thin to thick	SM/GM	All	0,06 – 0,30	0,10 – 0,65	< 0,5 – 0,7
Thick	CLCH	All (most dry)	0,02 – 0,75	0,10 – 1,00	0,5 – 1,0
	SC/GC	All (most dry)	0,05 – 0,20	0,10 – 0,35	0,10 – 0,45
Very broad	All	All (most dry)	0 – 0,60	0 – 0,80	0,05 – 0,76

Notes: Thin (<0,25H: 1V); Medium (0,25H<x<0,5H: 1V);
Thick (0,5H<x<1,25H:1V) Very Broad (lebar lapisan kedap>lebar puncak)

Tabel 2. Kriteria penerimaan penurunan lereng hulu dan hilir bendungan paska konstruksi [2]

Material Type	Compaction Rating	Settlement (% height from the control point to foundation level)			
		Downstream Shoulder		Upstream Shoulder	
		3 years	10 years	3 years	10 years
Rockfill	Well	0,05 – 0,35	0,05 - 0,55	0,10 – 0,60	0,10 – 0,70
	Reas to well	< 0,30	< 0,50	0 – 0,55	0,10 – 0,60
	Reas	0,20 – 1,0	0,10 – 1,0	< 0,70	*
	Poor	0,10*	0,15*	0,10 – 1,05	0,15 – 1,20
	Poor - dry	0,15 – 1,60	0,30 – 2,0	0,15 – 1,35	0,20 – 1,6
Gravels	-	< 0,15	< 0,25	< 0,15	< 0,25
Earthfills	-	0 – 0,40	0,0 – 0,70	0,05 – 0,60	0,10 – 0,70

(*) insufficient data

Penurunan puncak bendungan dapat dievaluasi dengan *settlement index* (SI) yang dinyatakan dengan rumus:

$$SI = \frac{S}{1000 \times H \times \log \left(\frac{t_2}{t_1} \right)} \quad (4)$$

Dimana S (mm) adalah selisih dari penurunan puncak yang terjadi dalam interval waktu t_2 dan t_1 , sedangkan H (m) adalah ketinggian titik control dari elevasi pondasi [6]. Jika nilai *settlement index* lebih besar dari 0,02, maka penurunan puncak yang dikaitkan dengan mekanisme selain creep perlu diinvestigasi lebih lanjut [7].

Selain kriteria penerimaan hasil analisis Hunter dan Fell, deformasi vertikal bendungan urugan batu dapat dievaluasi dengan kriteria penerimaan dari penelitian lain yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kriteria penerimaan penurunan bendungan tipe urugan batu paska konstruksi [2]

Referensi	Parameter Deformasi	Batas Deformasi (% dari tinggi bendungan)
ICOLD (1993)	Puncak	0,2% – 1,0%
	Lereng	0,1% – 0,2%
Sowers (1965)	Puncak	0,25% – 1,0%
Sherard (1963)	Puncak	0,1% - 0,4%

METODE

Pengumpulan data

Data yang diperlukan dalam mengevaluasi perilaku deformasi vertikal Bendungan Sermo antara lain data teknis bendungan (lihat Tabel 4), *as build drawing* bendungan, *layout* instrumentasi, detail instrumentasi, dan data pemantauan instrumentasi. Instrumentasi yang digunakan dalam menganalisis deformasi vertikal adalah inclinometer, *settlement gauge*, dan patok geser. Data pemantauan yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan dari data pemantauan *settlement gauge* tahun 1995 s/d 2022, dan patok geser tahun 1996 s/d 2021 yang dicatat oleh BBWS Serayu Opak.

Tabel 4. Data teknis Bendungan Sermo [8] [9] [10]

Elevasi Puncak	141,6 m dpl
Lebar puncak	8,0 m
Panjang puncak	190,0 m
Tinggi bendungan	52,6 m
MAW maksimum	139,0 m dpl
MAW normal	136,6 m dpl
MAW minimum	113,7 m dpl
Kemiringan lereng hilir	1,7 H: 1 V
Kemiringan lereng hulu	1,8 H: 1 V
Kemiringan inti	0,25 H: 1 V
Material inti	Clay Loam

Analisis deformasi vertikal

Analisis dilakukan terhadap perilaku deformasi Bendungan Sermo arah vertikal pada inti, puncak, dan lereng bendungan. Analisis deformasi vertikal dibagi menjadi 2 (dua) periode, yaitu masa konstruksi dan paska konstruksi. Data yang digunakan dalam analisis adalah nilai deformasi dari hasil pemantauan instrumentasi.

Deformasi pada inti bendungan urugan pada periode konstruksi dianalisis pada kondisi timbunan masih berjalan dan kondisi timbunan sudah selesai [12]. Analisis *vertical strain* dianalisis dengan Persamaan 1, sedangkan *total settlement* dianalisis dengan Persamaan 2 dan 3.

Bendungan urugan batu akan terus mengalami deformasi yang lama setelah konstruksinya selesai [13]. Pada periode paska konstruksi, pemantauan deformasi vertikal terkonsentrasi pada deformasi internal dan eksternal (permukaan). Analisis deformasi vertikal internal dipantau pada inti bendungan dengan mengukur deformasi yang terpantau pada magnet *settlement gauge*. Sedangkan, deformasi vertikal eksternal dianalisis menggunakan data deformasi hasil pemantauan patok geser.

Metode yang digunakan adalah analisis matematis yang divisualisasikan menjadi grafik dan disandingkan dengan nilai kriteria penerimaan deformasi dari referensi yang ada [14]. Deformasi vertikal eksternal dianalisis dengan menggunakan Persamaan 4.

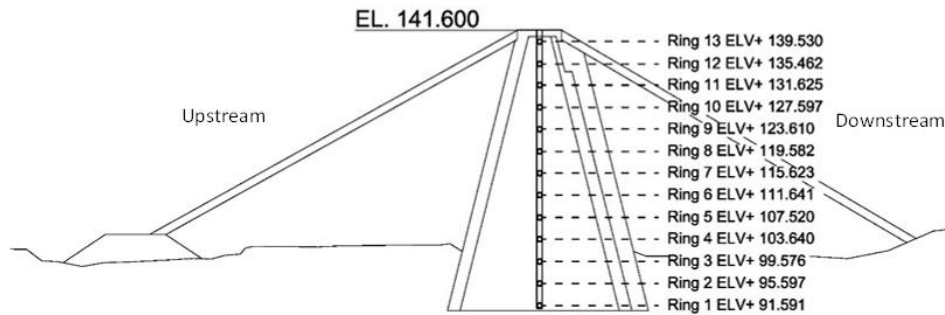
Evaluasi deformasi vertikal

Hasil dari analisis deformasi vertikal pada periode konstruksi dan paska konstruksi dievaluasi dengan membandingkan besaran deformasi yang terjadi dengan kriteria penerimaan yang ada. Kriteria penerimaan untuk periode konstruksi disajikan pada Tabel 1 dan 2, sedangkan paska konstruksi disajikan pada Tabel 3. Perilaku deformasi vertikal dianggap normal apabila nilainya masuk dalam batas kriteria penerimaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deformasi Vertikal Masa Konstruksi

Data yang digunakan untuk mengevaluasi deformasi vertikal pada periode konstruksi adalah data pemantauan *settlement gauge*. Evaluasi dilakukan pada Ring 2 sampai dengan Ring 13, sedangkan Ring 1 tidak dievaluasi karena pembacaan *error* pada saat penimbunan berlangsung. Detail letak magnet *Settlement Gauge* SG-1 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Settlement Gauge* SG-1 Bendungan Sermo [11]

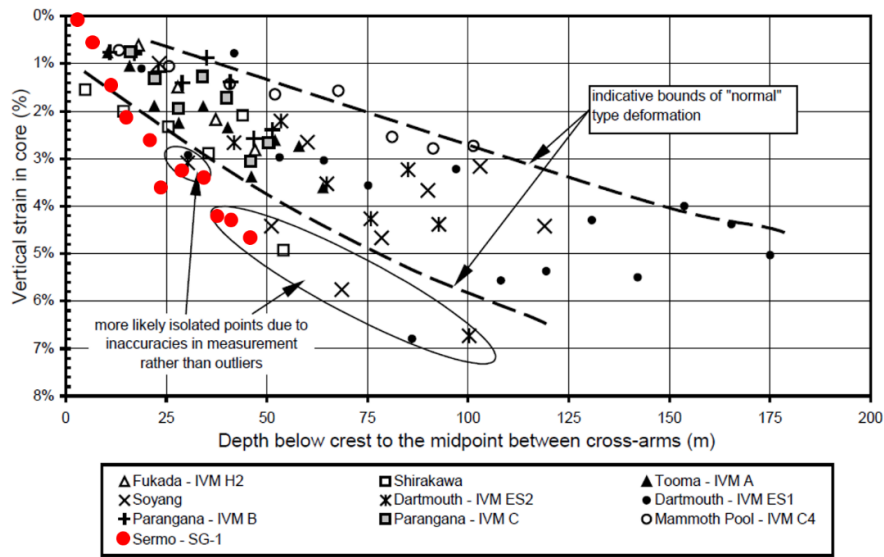
Perhitungan *vertical strain* diperoleh dari menghitung selisih antara perubahan panjang awal antar magnet dengan panjang magnet pada data pembacaan dibagi dengan perubahan panjang awal antar magnet [15]. Hasil perhitungan *vertical strain* sesuai dengan Persamaan 1 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan *vertical strain* dan *dept below crest* (H)

Magnet	H (m)	S ₀ (m)	S ₁ (m)	ΔS (m)	Vertical strain (%)
Ring 2 - Ring 3	44,40	4,00	3,811	0,189	4,73
Ring 3 - Ring 4	40,52	4,127	3,95	0,177	4,29
Ring 4 - Ring 5	36,62	4,012	3,842	0,17	4,24
Ring 5 - Ring 6	32,69	4,149	4,008	0,141	3,4
Ring 6 - Ring 7	28,70	4,116	3,979	0,137	3,33
Ring 7 - Ring 8	24,74	4,103	3,948	0,155	3,78
Ring 8 - Ring 9	20,71	4,223	4,103	0,120	2,84
Ring 9 - Ring 10	16,60	4,210	4,117	0,093	2,21
Ring 10 - Ring 11	12,48	4,193	4,129	0,064	1,53
Ring 11 - Ring 12	8,35	4,152	4,127	0,025	0,6
Ring 12 - Ring 13	4,19	4,191	4,188	0,003	0,07

Hasil perhitungan pada Tabel 5 dievaluasi terhadap perilaku normal bendungan dengan cara membuat plot korelasi antara *vertical strain* terhadap *depth below crest*. Gambar 2 menunjukkan bahwa *vertical strain* yang terjadi pada kedalaman lebih dari 12,48 m berada di bawah batas bawah deformasi normal kriteria penerimaan Hunter dan Fell [2]. Meski demikian, *vertical strain* Bendungan Sermo masih mendekati garis batas bawah deformasi normal. Hal ini

kemungkinan karena faktor keakuratan dalam pembacaan instrumentasi maupun sensitivitas probe.



Gambar 2. Korelasi *vertical strain* terhadap *depth below crest* (Hasil Analisis; [2])

Settlement (penurunan tanah) sebagai akibat dari adanya *vertical strain* dievaluasi dengan menggunakan Persamaan 2 dan 3. Evaluasi dilakukan pada saat timbunan mencapai ketinggian 51,33%, 74,14%, dan 100% dengan batas *settlement* yang dihitung pada Tabel 6.

Tabel 6. Batas *settlement* Bendungan Sermo periode konstruksi

Progres Timbunan (%)	Tinggi Timbunan (H)	Batas <i>Settlement</i>	
	(m)	$H(0,152H+12,60)$ (mm)	$0,179H^{0,60}$ (%)
51,33	27	451,008	1,29
74,14	39	722,592	1,61
100	52,6	1083,308	1,93

Deformasi vertikal atau *settlement* yang terjadi selama konstruksi berlangsung hingga akhir konstruksi ditunjukkan pada Tabel 7, Tabel 8,

Tabel 9. Nilai deformasi vertikal atau *settlement* selama timbunan berlangsung dan timbunan berakhir (akhir konstruksi) dibawah batas deformasi yang diizinkan.

Tabel 7. *Settlement* Bendungan Sermo periode konstruksi saat progres timbunan 51,33%

Maget	<i>Initial Reading</i>	Observasi	<i>Settlement</i> saat H = 27 m		Batas <i>Settlement</i>	
	(m)	(m)	(m)	(% terhadap H)	<0,451 m	<1,29 %
Ring 2	95,597	95,449	0,148	0,55	Normal	Normal
Ring 3	99,576	99,357	0,219	0,81	Normal	Normal
Ring 4	103,64	103,434	0,206	0,76	Normal	Normal
Ring 5	107,551	107,425	0,126	0,47	Normal	Normal
Ring 6	111,641	111,547	0,094	0,35	Normal	Normal

Tabel 8. *Settlement* Bendungan Sermo periode konstruksi saat progres timbunan 74,14%

Maget	<i>Initial Reading</i>	Observasi	<i>Settlement</i> saat H = 27 m		Batas <i>Settlement</i>	
	(m)	(m)	(m)	(% terhadap H)	<0,723 m	<1,61 %
Ring 2	95,597	95,35	0,247	0,633	Normal	Normal
Ring 3	99,576	99,2	0,376	0,964	Normal	Normal
Ring 4	103,64	103,193	0,447	1,146	Normal	Normal
Ring 5	107,551	107,09	0,461	1,182	Normal	Normal
Ring 6	111,641	111,142	0,499	1,279	Normal	Normal
Ring 7	115,623	115,188	0,435	1,115	Normal	Normal
Ring 8	119,582	119,194	0,388	0,995	Normal	Normal
Ring 9	123,61	123,387	0,223	0,572	Normal	Normal
Ring 10	127,597	127,597	0	0	Normal	Normal

Tabel 9. *Settlement* Bendungan Sermo periode konstruksi saat progres timbunan 100%

Maget	<i>Initial Reading</i>	Observasi	<i>Settlement</i> saat H = 27 m		Batas <i>Settlement</i>	
	(m)	(m)	(m)	(% terhadap H)	<1,083 m	<1,93 %
Ring 2	95,597	95,299	0,298	0,57	Normal	Normal
Ring 3	99,576	99,11	0,466	0,89	Normal	Normal
Ring 4	103,64	103,06	0,58	1,10	Normal	Normal
Ring 5	107,551	106,902	0,649	1,23	Normal	Normal
Ring 6	111,641	110,91	0,731	1,39	Normal	Normal
Ring 7	115,623	114,889	0,734	1,40	Normal	Normal
Ring 8	119,582	118,837	0,745	1,42	Normal	Normal
Ring 9	123,61	122,94	0,67	1,27	Normal	Normal
Ring 10	127,597	127,057	0,54	1,03	Normal	Normal
Ring 11	131,625	131,186	0,439	0,83	Normal	Normal
Ring 12	135,462	135,313	0,149	0,28	Normal	Normal
Ring 13	139,53	139,501	0,029	0,06	Normal	Normal

Deformasi Vertikal Paska Konstruksi

Pada periode ini, dilakukan pemantauan deformasi vertikal eksternal (permukaan) pada puncak bendungan dengan patok geser. Evaluasi dilakukan dengan metode *settlement* terhadap persentasi tinggi titik pemantauan (patok geser) sampai ke pondasi dan dengan *settlement index*. Detail penempatan patok geser Bendungan Sermo dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Patok Geser Bendungan Sermo

Periode waktu pertama (t_1) untuk analisis Settlement index adalah tahun akhir konstruksi, yaitu tahun 1996 hingga periode tahun ke-10, ke-20, dan ke-25 terhitung dari akhir konstruksi. Tinggi bendungan (H) yang digunakan dalam perhitungan menyesuaikan dengan ketinggian timbunan karena tinggi timbunan di abutmen berbeda dengan di tengah.

Hasil dari evaluasi settlement puncak dan lereng hilir bendungan terhadap settlement index disajikan pada Tabel 10 dan Tabel 11. Seluruh settlement yang terjadi nilainya kurang dari 0,02. Sehingga, perilaku deformasi vertikal paska konstruksi termasuk normal.

Tabel 10. *Settlement* puncak bendungan paska konstruksi terhadap *settlement index* (SI)

Patok Geser	Tahun ke-10		Tahun ke-20		Tahun ke-25	
	SI	<0,02	SI	<0,02	SI	<0,02
OP7	0,004	Normal	0,004	Normal	0,003	Normal
OP8	0,004	Normal	0,004	Normal	0,004	Normal
OP9	0,004	Normal	0,004	Normal	0,004	Normal
OP10	0,003	Normal	0,003	Normal	0,003	Normal
OP11	0,004	Normal	0,004	Normal	0,003	Normal
OP12	0,004	Normal	0,003	Normal	0,004	Normal
OP13	0,002	Normal	0,002	Normal	0,002	Normal
OP14	0,004	Normal	0,004	Normal	0,004	Normal
OP15	0,004	Normal	0,004	Normal	0,004	Normal
OP16	0,002	Normal	0,002	Normal	0,002	Normal
OP17	0,003	Normal	0,003	Normal	0,003	Normal
OP18	0,003	Normal	0,003	Normal	0,003	Normal

Tabel 11. *Settlement* lereng hilir bendungan paska konstruksi terhadap *settlement index (SI)*

Patok Geser	Tahun ke-10		Tahun ke-20		Tahun ke-25	
	SI	<0,02	SI	<0,02	SI	<0,02
OP23	0,001	Normal	0,001	Normal	0,001	Normal
OP24	0,001	Normal	0,001	Normal	0,001	Normal
OP25	0,001	Normal	0,001	Normal	0,001	Normal
OP26	0,001	Normal	0,001	Normal	0,001	Normal

Evaluasi deformasi vertikal terhadap persentase ketinggian dilakukan pada tahun ke-10, ke-20, dan ke-25 dari periode akhir konstruksi. *Settlement* yang terjadi dibandingkan terhadap persentase tinggi titik observasi dari pondasi. Tabel 12, Tabel 13, dan Tabel 14 menunjukkan bahwa nilai *settlement* atau deformasi vertikal pada puncak dan lereng hilir masuk dalam kriteria penerimaan.

Tabel 12. *Settlement* puncak bendungan paska konstruksi terhadap persentase ketinggian berdasarkan kriteria Hunter dan Fell

Patok Geser	Tahun ke-10		Tahun ke-20		Tahun ke-25	
	<i>Settlement (%)</i>	0,10 - 0,65	<i>Settlement (%)</i>	0,20 - 0,95	<i>Settlement (%)</i>	0,20 - 0,95
OP7	0,37	normal	0,47	normal	0,48	normal
OP8	0,42	normal	0,54	normal	0,57	normal
OP9	0,44	normal	0,56	normal	0,58	normal
OP10	0,35	normal	0,45	normal	0,47	normal
OP11	0,36	normal	0,47	normal	0,49	normal
OP12	0,38	normal	0,42	normal	0,51	normal
OP13	0,21	normal	0,29	normal	0,29	normal
OP14	0,38	normal	0,46	normal	0,51	normal
OP15	0,36	normal	0,47	normal	0,49	normal
OP16	0,24	normal	0,31	normal	0,33	normal
OP17	0,27	normal	0,36	normal	0,38	normal
OP18	0,29	normal	0,36	normal	0,39	normal

Tabel 13. *Settlement* puncak bendungan paska konstruksi terhadap persentase ketinggian

Patok Geser	<i>Settlement</i> Tahun ke-25	ICOLD	Sowers	Sherard
		0,2% – 1,0%	0,25% – 1,0%	0,1% - 0,4%
OP7	0,48	normal	normal	abnormal
OP8	0,57	normal	normal	abnormal
OP9	0,58	normal	normal	abnormal
OP10	0,47	normal	normal	abnormal
OP11	0,49	normal	normal	abnormal
OP12	0,51	normal	normal	abnormal
OP13	0,29	normal	normal	normal
OP14	0,51	normal	normal	abnormal
OP15	0,49	normal	normal	abnormal
OP16	0,33	normal	normal	normal
OP17	0,38	normal	normal	normal
OP18	0,39	normal	normal	normal

Tabel 14. *Settlement* lereng hilir bendungan paska konstruksi terhadap persentase ketinggian

Patok Geser	Tahun ke-10	Hunter dan Fell	ICOLD
	<i>Settlement (%)</i>	0,05 - 0,55	0,1% – 0,2%
OP23	0,09	normal	abnormal
OP24	0,12	normal	normal
OP25	0,11	normal	normal
OP26	0,08	normal	abnormal

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, perilaku deformasi vertikal yang terjadi pada bendungan sermo pada periode konstruksi hingga akhir konstruksi cenderung normal meskipun terdapat beberapa kondisi abnormal. Pada periode konstruksi berlangsung, terjadi perilaku abnormal vertical strain pada kedalaman lebih dari 12,48 m. Kondisi ini kemungkinan karena faktor sensitivitas *phrobe* sensor atau keakuratan data pembacaan instrumentasi karena nilai korelasi masih mendekati garis batas. Hal ini juga dibuktikan dengan evaluasi korelasi settlement terhadap persentase tinggi timbunan yang nilainya termasuk dalam kriteria penerimaan.

Pada periode paska konstruksi, kondisi abnormal deformasi vertikal puncak dan lereng bendungan terjadi pada beberapa elevasi berdasarkan kriteria Sherard [1] dan ICOLD [2]. Kondisi abnormal yang terjadi belum tentu mengindikasikan adanya bahaya yang mengancam keamanan bendungan. Namun, perlu dilakukan evaluasi lebih dalam untuk memastikan kondisi tersebut. Karena berdasarkan evaluasi dengan settlement index serta kriteria penerimaan Hunter dan Fell [2] dan Sowers [3] perilaku deformasi termasuk dalam kriteria normal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. L. Sherard, '*Engineering Problems of Design And construction*'. Wiley, 1963.
- [2] G. Hunter and R. Fell, '*The Deformation Behaviour of Embankment Dams*', 2003.
- [3] G. F. Sowers, '*Compressibility of broken rock and the settlement of rockfills*', in *Proceedings of the 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Montreal, Canada, 1965*, pp. 561–565.
- [4] M. Rizal, '*Deformation and Cracking in Rockfill dams Case of Jatiluhur Dam*', 2004.
- [5] R. E. Maulana, I. D. Atmanto, and B. Pardoyo, 'Analisa Instrumentasi Geoteknik untuk Evaluasi Keamanan Bendungan Urugan Tanah di Lodan Kabupaten Rembang', *Jurnal Karya Teknik Sipil*, vol. 4, no. 4, pp. 561–567, 2016.
- [6] P. Michalis, S. Pytharouli, P. Michalis, S. I. Pytharouli, and S. Raftopoulos, '*Long-term Deformation Patterns of Earth-fill Dams based on Geodetic Monitoring Data: The Pournari I Dam Case Study*', 2016.
- [7] S. Pytharouli and S. Stiros, '*Dam Crest Settlement, Reservoir Level Fluctuations and Rainfall: Evidence for A Causative Relationship for The Kremasta Dam Greece*', 2008.
- [8] Ministry of Public Works, '*Surveillance of Dam Behaviour During Impounding Sermo Dam*'. 1997.
- [9] Department of Public Works and PT. Indra Karya, '*Design Review of Opak Serang Irrigation Rehabilitation Project*'. 1990.

- [10] Elc Electroconsult Spa, PT. Bina Karya, and Pt. Wiratman & Ass., '*Integrated Irrigation Sector Project Irrigation Component. Final Assessment of Sermo Dam: Main Report*'. 1992.
- [11] Elc. Electroconsult spa, PT. Bina Karya, and PT. Wiratman, '*Integrated Irrigation Sector Project Irrigation Component. Final Assessment of Sermo dam: Drawings*'. 1992.
- [12] M. S. Istiaji, S. Sriyana, and K. W. Sadono, '*Behavioral Study of Bajulmati Dam Deformation Through Dam History Database-based Assessment*', *TEKNIK*, vol. 42, no. 2, pp. 186–198, Aug. 2021, doi: 10.14710/ teknik. V 42i2.39629.
- [13] R. P. Clements, '*Post-construction deformation of rockfill dams*', *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 110, no. 7, pp. 821–840, 1984.
- [14] D. A. P. Pratomo, Suharyanto, and P. S. Atmojo, '*Deformasi Bendungan Cirata berdasarkan Analisis Data Instrumen Patok Geser*', *Jurnal Teknik*, vol. 19, no. 2, pp. 96–106, Dec. 2021, doi: 10.37031/jt. v19i2.166.
- [15] F. A. Kurniawan, S. P. R. S.P.R Wardani, and K. W. Sadono, '*Perilaku Deformasi Bendungan Jatibarang*', *TERAS JURNAL*, vol. 11, no. 2, p. 531, Oct. 2021, doi: 10.29103/tj. V 11i2.592.