



Analisis perilaku deformasi Bendungan Bili-Bili dengan metode penilaian berdasarkan data instrumentasi pada tubuh Bendungan Bili-Bili

Abdul Makmur TB^{1✉}, Ratna Musa¹, Mas'ud Sar¹

Fakultas Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia⁽¹⁾

DOI: 10.31004/jutin.v8i1.41092

✉ Corresponding author:

[\[abd.makmurtb@gmail.com\]](mailto:abd.makmurtb@gmail.com)

Article Info

Abstrak

Kata kunci:

Depormasi Bendungan Bili-Bili;
Instrumentasi;
Stabilitas Bendungan;
Monitoring;
Patok Geser Tekanan Air Pori ;

Keywords:

Dam Deformation Bili-Bili;
Instrumentation;
Dam Stability;
Monitoring;
Pressure Shear Pegs;
Pore Water;

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku deformasi Bendungan Bili-Bili berdasarkan data instrumentasi yang dikumpulkan sejak masa konstruksi hingga operasional. Data yang digunakan meliputi hasil pengukuran deviasi horizontal, perubahan elevasi vertikal, dan tekanan air pori yang diperoleh melalui instrumen seperti patok geser, pisometer, dan auto level. Fokus utama penelitian adalah mengidentifikasi perubahan deformasi dari waktu ke waktu, mengevaluasi kestabilan bendungan, dan memberikan rekomendasi mitigasi risiko kegagalan struktur. Metode penelitian ini melibatkan pengumpulan data sekunder dari catatan pengukuran tahun 1997 hingga 2023. Analisis dilakukan menggunakan kriteria penerimaan deformasi berdasarkan standar ICOLD (International Commission on Large Dams). Hasil penelitian menunjukkan bahwa deformasi yang terjadi sebagian besar disebabkan oleh konsolidasi material urugan batu dan interaksi hidraulik antara air waduk dan struktur bendungan. Meskipun demikian, beberapa area menunjukkan anomali deformasi yang memerlukan pemantauan lebih lanjut, terutama di bagian sayap kiri dan kanan bendungan. Kesimpulannya, Bendungan Bili-Bili masih berada dalam kondisi stabil dan aman. Rekomendasi yang diberikan meliputi peningkatan monitoring di area anomali dan penguatan program pemeliharaan rutin untuk menjaga stabilitas jangka panjang.

Abstract

This research aims to analyze behavior at the Bili-Bili Dam based on instrumentation data collected from the construction period to operation. The data used includes the results of measurements of horizontal deviation, changes in vertical height, and pore air pressure obtained through instruments such as sliding stakes, piezometers, and auto levels. The main focus of the research is to identify changes over time, address dam stability, and provide recommendations

for mitigating the risk of structural failure. This research method involves collecting secondary data from measurement records from 1997 to 2023. Analysis was carried out using permit acceptance criteria based on ICOLD (International Commission on Large Dams) standards. The research results showed that the freezing that occurred was mostly caused by consolidation of the rock fill material and hydraulic interactions between the water reservoir and the dam structure. However, several areas show anomalies that require further monitoring, especially on the left and right wings of the dam. In conclusion, the Bili-Bili Dam is still in a stable and safe condition. Recommendations include increased monitoring of area anomalies and strengthening the routine maintenance program to maintain long-term stability..

1. INTRODUCTION

Bendungan merupakan bangunan air untuk menahan laju aliran air secara alamiah ataupun buatan yang kemudian akan ditampung atau disimpan menjadi waduk. Pembangunan bendungan berfungsi untuk mengurangi intensitas banjir, serta dapat dimanfaatkan juga kebutuhan air baku, pengairan, pariwisata, pembangkit tenaga listrik, serta yang lain. Selain memiliki manfaat yang sangat besar, bendungan juga memiliki potensi bahaya di dalamnya, apalagi jika tidak didukung dengan pengelolaan dan pemantauan yang baik. Bendungan yang runtuh dapat menimbulkan bencana besar yang dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan, harta benda bahkan korban jiwa di daerah hilir. Kegagalan bendungan akan mengakibatkan banjir yang tidak terkendali sehingga dapat merugikan seperti kematian dan kerugian ekonomi. Bendungan Bili-Bili membendung Sungai Jeneberang di Desa Bili-Bili, Kecamatan Bontomarannu dan juga menggenangi sebagian Desa Moncongloe Kecamatan Manuju serta Kelurahan Bontoparang Kecamatan Parangloe, di mana semua kecamatan tersebut di atas berada di Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan. Lokasi Bendungan Bili-Bili ± 30 km di sebelah Timur Kota Makassar dan ± 31 km dari muara Sungai Jeneberang, dengan posisi geografis $5^{\circ}15'$ LS dan $119^{\circ}37'$ BT. Bendungan Bili-Bili merupakan tipe urugan batu, tinggi bendungan utama 73 m dan panjang 750 m. Luas daerah tangkapan waduk sebesar 384,40 km² dengan kapasitas tampungan 375 juta m³ dan kapasitas tampungan efektif 346 juta m³. Tujuan dari pembuatan Bendungan Bili-Bili adalah untuk mencegah terjadinya banjir kota Makassar akibat luapan air sungai Jeneberang di bagian hilir. Tujuan berikutnya yaitu untuk meningkatkan kesejahteraan penduduk kota Makassar dan sekitarnya dan untuk mensuplay air baku di kab. Gowa, kab. Takalar dan kota Makassar.

Adapun manfaat dari pembuatan Bendungan Bili-Bili yaitu pengendalian banjir Sungai Jeneberang dari debit 2.200 m³/dtk menjadi 1.200 m³/det, dengan pengendalian banjir periode ulang 50 tahun, penyediaan air baku sebesar 3.300 ltr/det, dan penyediaan air untuk irigasi di tiga daerah irigasi : Bili-Bili, Kampili dan Bissua sebesar 24.585 ha di musim hujan dan 19.540 ha di musim kemarau. PLTA dengan kapasitas terpasang 20.1 MW, untuk daerah pariwisata dan perikanan darat. Selain memiliki manfaat yang sangat besar, bendungan juga memiliki potensi bahaya di dalamnya, apalagi jika tidak didukung dengan pengelolaan dan pemantauan yang baik. Bendungan yang runtuh dapat menimbulkan bencana besar yang dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan, harta benda bahkan korban jiwa di daerah hilir. Kegagalan bendungan akan mengakibatkan banjir yang tidak terkendali sehingga dapat merugikan seperti kematian dan kerugian ekonomi. 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 hidrolik, berkurang atau hilangnya freeboard yang dapat menyebabkan limpas dan akhirnya bendungan runtuh

Gejala bahaya pada bendungan dapat dideteksi dengan melakukan pemantauan secara rutin. Pemantauan instrumentasi ini diperlukan pada saat pelaksanaan konstruksi, pengisian pertama dan selama bendungan tersebut beroperasi. Hal ini ditujukan untuk mengetahui dan mendeteksi secara dini apabila terjadi suatu tanda-tanda yang tidak normal yang berkaitan dengan keamanan bendungan (Central Water Commission, 2018). Deformasi yang terjadi di bendungan dapat dipantau menggunakan sejumlah instrumen, salah satunya adalah patok geser atau surface movement monument. Patok geser dipasang pada lereng dan puncak bendungan, sesuai kebutuhan dan dengan memperhatikan kemampuan pengukuran terhadap posisi patok geser.

Pergerakan urugan batu pada bendungan Bili – Bili yang mengarah pada deformasi permukaan dapat diidentifikasi melalui hasil pengukuran atau survei patok geser yang dipasang (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2011). Survei merupakan metode yang dapat diandalkan untuk memantau deformasi yang terjadi pada bendungan saat ini. Berdasarkan latar belakang yang di atas, maka penulis mengangkat judul untuk Tesis tentang Analisis Perilaku Deformasi Bendungan Bili-Bili Dengan Metode Penilaian Berdasarkan Data Instrumentasi Pada Tubuh Bendungan Bili – Bili . Penelitian ini mencoba mengkaji instrumentasi pada bendungan adalah untuk memperoleh data guna evaluasi keamanan dan tingkah laku bendungan selama pelaksanaan konstruksi, saat pengisian waduk, dan pada saat pengoperasian bendungan secara terus menerus.

2. METHODS

Pengolahan data terdiri dari pengolahan data sementara yang dilakukan di lapangan berfungsi sebagai kontrol hasil pengukuran dan perhitungan yang dilakukan di kantor. Adapun jenis perhitungan yang dipergunakan adalah sebagai berikut :

1. Penentuan Posisi Horisontal (koordinat X,Y)
2. Penentuan Posisi Vertikal (elevasi Z)

Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan Pengumpulan data pada penelitian ini ialah berupa data sekunder sebagai berikut:

- a. Pengumpulan data Sekunder.
Pengumpulan data sekunder adalah pengumpulan data pengukuran terdahulu, gambar Bendungan Bili Bili dan harga koordinat tiap titik BM, CD dan SD yang terdapat pada Bendungan Bili Bili. Adapun nilai koordinat tiap titik tiap tahun survey dapat dilihat di lampiran I.
- b. Pengukuran Deviasi Horizontal dengan Alat Total Station.
Pengukuran Deviasi Horizontal bertujuan untuk mengetahui pergeseran / pergerakan tubuh bendungan secara horizontal dengan membandingkan dengan data awal saat bendungan dibuat tahun 1997, pergeseran ini ditinjau dari dua axis yaitu pergeseran yang terjadi searah dengan garis As Bendungan dan yang tegak lurus dengan As Bendungan. Patok BM yang ada di lapangan dianggap tidak akan bergeser karena letak dari patok BM tersebut berada di atas tanah asli.
- c. Pengukuran Sattlement dengan alat Auto Level.
Pengukuran Sattlement bertujuan untuk mengetahui perubahan yang terjadi atas tubuh bendungan secara vertikal atau searah sumbu Z. Dilakukan dengan cara memperkurangkan antara nilai elevasi tiap titik kontrol pada saat awaql dan pada saat pengukuran ini dilaksanakan. Pengukuran Vertikal dilakukan dengan alat waterpass dengan membidik titik titik kontrol CD dan SD dengan mengambil referensi pada titik BM yang berada terdekat.
- d. Pengecekan langsung di Lapangan.
Sebelum data yang diperoleh dilapangan dibawa pulang, maka setiap hari setelah mengukur selalu menghitung secara kasar dengan kalkulator untuk mengetahui apakah ada kesalahan dalam pengukuran, jika terdapat data yang diragukan maka langsung dilakukan koreksi kembali di lapangan.

Tahapan Penelitian

Untuk penyelesaian studi sehingga maksud dan tujuan yang diharapkan dapat tercapai, maka tahapan penyelesaian dan analisa yang dilakukan sebagai berikut :

1. Ketelitian Pengukuran Poligon / Traversing. Pengukuran polygon dibedakan atas dua yaitu kerangka utama dan polygon saluran. Referensi yang digunakan adalah BM 11 (X : 785602.714, Y : 9416029.195, Z : 106.218) yang telah ada sehingga semua bentuk pengukuran adalah polygon terbuka terikat, dimana titik awal dan titik akhir pengukuran diketahui.
2. Ketelitian Pengukuran Sipat Datar/Levelling Pengukuran sipat datar menggunakan referensi dari titik BM referensi BM tersebut diatas selanjutnya ditransfer ke titik BM yang dipasang pada ke empat lokasi pengukuran saluran pembuang

Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan dua jenis variabel, yaitu variabel bebas dan variabel terikat.

- 1) Variabel Bebas (Independen).

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab terjadinya perubahan atau timbulnya variabel terikat (dependen). Dinamakan sebagai variabel bebas karena bebas dalam mempengaruhi variabel lain. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan yaitu "Data Elevasi"

2) Variabel Terikat.

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi atau variabel yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel terikat yang digunakan yaitu "Deformasi"

Data Teknik Bendungan

Data teknis merupakan data awal yang dipakai untuk mendapatkan gambaran umum tentang Bendungan Bili-Bili. Data teknis bersumber dari data hasil perencanaan yang disebutkan dalam laporan Pedoman Pengoperasian Bendungan Bili-Bili, CTI Engineering Co. LTD in ass. with PT. Indra Karya and PT. DDC Consultants, Desember 1999.

3. RESULT AND DISCUSSION

Data Instrumentasi Bendungan Bili – Bili

Kondisi dan Kinerja Instrumentasi

Jenis dan Jumlah Instrumentasi yang di pasang di bendungan bili bili adalah sebagai yang tercantung pada table di bawah ini :

Tabel 4.1 Instrumentasi dan Jumlah Intrumentasi

No.	Uraian	Jumlah Instrumen yang dpasang			
		MD	RWD	LWD	Total
1	Pisometer didalam tubuh bendungan:				
	- Vibrating Wire Pisometer	22	11	7	40
	- Hydraulic Pisometer	4	-	-	4
2	Pisometer didalam fondasi bendungan:				
	- Vibrating Wire Pisometer	5	5	5	15
	- Hydraulic Pisometer	2	-	-	2
3	Pressure Cell	2	-	-	2
4	Hydrostatic Settlement	5	-	-	5
5	Vertical Settlement	2	1	1	4
6	Strong Motion Accelerometer	2	-	-	2
7	U/S Monument	10	7	10	27
8	D/S Monument	18	7	14	39
9	Crest Monument	7	4	6	17
10	Benchmarks	-	-	-	30
11	Groundwater Observation Holes	10	7	7	24
12	Seepage Measuring Well	1	1	1	3
	Jumlah	90	43	51	214

Catatan : MD = Main Dam; RWD = Right Wing Dam; LWD = Left Wing Dam

Monument atau patok geser ini adalah untuk mengukur pergeseran permukaan tubuh bendungan baik kearah vertikal maupun horizontal. Monument dipasang pada permukaan tubuh bendungan, yaitu pada crest (puncak) bendungan termasuk lereng hulu dan lereng hilir bendungan. Monitoring perubahan baik itu vertikal maupun horisontal adalah berdasarkan hasil survey Tahun 1999 – tahun 2023. Instument Patok Geser pada Bendungan Bili – Bili terdiri dari Tiga Bagian yaitu, pada daerah Left Wing Dam (LWD) / Bendungan sayap Kiri, Main Dam (MD) / Bendungan Utama dan Right Wing Dam (RWD) / Bendungan Sayap Kanan yang dimana total Monument (Patok Geser yang terpasang di bendungan Bili – Bili sebanyak 66 Titik di lereng bendungan dan 17 titik d puncak bendungan

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Tahun 1997 (LWD)

Lokasi Monument	Nomor Monument	Koordinat Monument (Patok Geser) Thn. 1997		
		Koordinat		ELV. Puncak
		X	Y	Z
		(m)	(m)	(m)
Puncak	CD.12	786989.128	9415597.789	106.159
	CD.13	786906.117	9415542.028	106.375
	CD.14	786823.208	9415486.278	106.439
	CD.15	786740.140	9415430.449	106.339
	CD.16	786657.276	9415374.607	106.201
	CD.17	786574.263	9415318.680	106.090
Hilir	SD.43	786940.217	9415491.28	75.067
	SD.44	786857.141	9415435.576	75.119
	SD.45	786774.137	9415379.755	75.082
	SD.46	787008.088	9415569.513	89.933
	SD.47	786925.143	9415513.652	89.943
	SD.48	786842.202	9415457.759	89.918
	SD.49	786759.273	9415402.093	89.953
	SD.50	786675.868	9415346.56	90.051
	SD.51	786998.052	9415584.479	100.031
	SD.52	786915.058	9415528.646	100.13
	SD.53	786832.098	9415472.806	99.858
	SD.54	786749.625	9415417.205	100.387
	SD.55	786666.348	9415361.166	100.213
SD.56	786583.343	9415305.46	100.142	
Hulu	SD.57	786978.596	9415613.446	99.889
	SD.58	786895.672	9415557.667	100.006
	SD.59	786812.677	9415501.926	99.709
	SD.60	786729.563	9415445.977	99.789
	SD.61	786646.75	9415390.395	100.24
	SD.62	786563.822	9415334.503	100.232
	SD.63	786882.945	9415576.572	89.799
	SD.64	786799.973	9415520.705	89.897
	SD.65	786716.859	9415465.183	89.887
	SD.66	786633.935	9415409.244	89.852

Sumber: BBWS Pompegan Jeneberang

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Tahun 1997 (Main Dam)

Lokasi Monument	Nomor Monument	Koordinat Monument (Patok Geser) Thn. 1997		
		Koordinat		ELV. Puncak
		X	Y	Z
		(m)	(m)	(m)
Puncak	CD.1	786162.474	9415726.530	106.052
	CD.2	786075.728	9415776.292	106.215
	CD.3	785988.970	9415826.126	106.360
	CD.4	785902.229	9415876.046	106.484
	CD.5	785815.551	9415925.821	106.496
	CD.6	785728.809	9415975.434	106.513
	CD.7	785642.102	9416025.293	106.462
Hilir	SD.1	785858.442	9415799.479	60.14
	SD.2	785771.638	9415849.23	60.126

Lokasi Monument	Nomor Monument	Koordinat Monument (Patok Geser) Thn. 1997			
		Koordinat		ELV. Puncak	
		X	Y	Z	
		(m)	(m)	(m)	
	SD.3	785958.634	9415773.236	75.033	
	SD.4	785871.84	9415822.922	74.931	
	SD.5	785785.088	9415872.66	74.91	
	SD.6	785698.331	9415922.405	74.942	
	SD.9	786058.852	9415746.923	89.955	
	SD.10	785972.079	9415796.628	89.905	
	SD.11	785885.251	9415846.22	89.82	
	SD.12	785798.581	9415896.188	89.832	
	SD.13	785711.848	9415945.89	89.836	
	SD.14	785625.144	9415995.653	89.874	
	SD.17	786067.811	9415762.416	100.222	
	SD.18	785980.643	9415811.706	99.792	
	SD.19	785894.336	9415861.729	100.262	
	SD.20	785807.447	9415911.893	100.259	
	SD.21	785721.045	9415961.651	100.336	
	SD.22	785634.266	9416011.351	100.267	
	Hilir	SD.26	785998.467	9415842.899	100.256
		SD.27	785911.763	9415892.601	100.158
		SD.28	785824.949	9415942.287	100.219
		SD.29	785738.228	9415991.865	100.31
		SD.30	785651.422	9416041.653	100.129
		SD.35	786009.796	9415862.581	90.14
SD.36		785922.899	9415912.392	89.855	
SD.37		785836.544	9415962.298	89.855	
SD.38		785749.631	9416011.853	89.815	
SD.39	785662.945	9416061.694	89.972		

Sumber : BBWS Pompengan Jeneberang

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Tahun 1997 (RWD)

Lokasi Monument	Nomor Monument	Koordinat Monument (Patok Geser) Thn. 1997		
		Koordinat		ELV. Puncak
		X	Y	Z
		(m)	(m)	(m)
Puncak	CD.8	785555.382	9416075.181	106.410
	CD.9	785468.627	9416124.878	106.371
	CD.10	785381.884	9416174.595	106.280
	CD.11	785295.057	9416224.255	106.009
Hilir	SD.7	785438.162	9416071.588	75.024
	SD.8	785351.44	9416121.355	75.035
	SD.15	785451.657	9416094.98	89.904
	SD.16	785364.938	9416144.705	90.033
	SD.23	785547.222	9416060.809	100.167
	SD.24	785460.561	9416110.653	100.153
	SD.25	785373.821	9416160.265	100.254
Hulu	SD.31	785564.639	9416091.42	100.129
	SD.32	785478.077	9416140.775	100.152
	SD.33	785391.229	9416190.916	100.173
	SD.34	785304.623	9416240.706	100.058
	SD.40	785576.176	9416111.42	89.898

Lokasi Monument	Nomor Monument	Koordinat Monument (Patok Geser) Thn. 1997		
		Koordinat		ELV. Puncak
		X	Y	Z
		(m)	(m)	(m)
	SD.41	785489.361	9416161.185	89.92
	SD.42	785402.793	9416210.834	89.969

Sumber : BBWS Pompengan Jeneberang

Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Tahun 2023 (LWD)

Lokasi Monument	Nomor Monument	Periode Survey April 2023		
		Koordinat		ELV. Puncak
		X	Y	Z
		(m)	(m)	(m)
Puncak	CD.12	786989.110	9415597.829	106.125
	CD.13	786906.048	9415542.135	106.272
	CD.14	786823.187	9415486.450	106.335
	CD.15	786740.048	9415430.599	106.172
	CD.16	786657.303	9415374.725	106.095
	CD.17	786574.233	9415318.688	106.062
Hilir	SD.43	786940.175	9415491.192	75.045
	SD.44	786857.093	9415435.462	75.122
	SD.45	786774.119	9415379.568	75.089
	SD.46	787008.101	9415569.453	89.959
	SD.47	786925.064	9415513.593	89.952
	SD.48	786842.084	9415457.639	89.921
	SD.49	786759.150	9415401.975	89.948
	SD.50	786675.771	9415346.474	90.058
	SD.51	786998.016	9415584.479	100.068
	SD.52	786914.974	9415528.628	100.162
	SD.53	786832.000	9415472.813	99.887
	SD.54	786749.419	9415417.154	100.500
	SD.55	786666.237	9415361.162	100.206
Hulu	SD.56	786583.194	9415305.508	100.117
	SD.57	786978.506	9415613.392	99.963
	SD.58	786895.432	9415557.817	99.730
	SD.59	786812.374	9415502.117	99.349
	SD.60	786729.254	9415446.206	99.480
	SD.61	786646.574	9415390.447	100.110
	SD.62	786563.669	9415334.366	100.223
	SD.63	Dibawah Muka Air		
SD.64				
SD.65				
SD.66				

Sumber : Laporan Patok Geser Bili-Bili 2023

Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Tahun 2023 (Main Dam)

Lokasi Monument	Nomor Monument	Periode Survey April 2023		
		Koordinat		ELV. Puncak
		X	Y	Z
		(m)	(m)	(m)
Puncak	CD.1	786162.503	9415726.501	106.083
	CD.2	786075.735	9415776.259	106.250
	CD.3	785988.958	9415826.151	106.295
	CD.4	785902.242	9415876.204	106.259

Lokasi Monument	Nomor Monument	Periode Survey April 2023		
		Koordinat		ELV. Puncak
		X	Y	Z
		(m)	(m)	(m)
	CD.5	785815.632	9415925.998	106.201
	CD.6	785728.892	9415975.456	106.303
	CD.7	785642.252	9416025.446	106.301
Hilir	SD.1	785858.344	9415799.385	59.889
	SD.2	785771.556	9415849.093	59.833
	SD.3	785958.671	9415773.249	74.991
	SD.4	785871.838	9415822.847	74.832
	SD.5	785785.043	9415872.501	74.802
	SD.6	785698.319	9415922.242	74.855
	SD.9	786058.718	9415746.829	89.896
	SD.10	785971.913	9415796.548	89.794
	SD.11	785885.120	9415846.149	89.670
	SD.12	785798.461	9415896.002	89.652
	SD.13	785711.764	9415945.771	89.691
	SD.14	785625.039	9415995.632	89.896
	SD.17	786067.659	9415762.118	100.137
	SD.18	785980.575	9415811.503	99.669
Hilir	SD.19	785894.220	9415861.514	99.978
	SD.20	785807.300	9415911.649	99.901
	SD.21	785721.030	9415961.421	100.037
	SD.22	785634.244	9416011.184	100.127
	SD.26	785998.475	9415842.983	100.190
	SD.27	785911.825	9415892.722	99.839
	SD.28	785825.008	9415942.350	99.698
	SD.29	785738.387	9415991.993	99.692
	SD.30	785651.689	9416041.633	100.148
	SD.35	Dibawah Muka Air		
SD.36				
SD.37				
SD.38				
SD.39				

Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Tahun 2023 (RWD)

Lokasi Monument	Nomor Monument	Periode Survey April 2023		
		Koordinat		ELV. Puncak
		X	Y	Z
		(m)	(m)	(m)
Puncak	CD.8	785555.508	9416075.46	106.183
	CD.9	785468.763	9416125.076	106.139
	CD.10	785382.022	9416174.751	106.119
	CD.11	785295.084	9416224.336	106.014
Hilir	SD.7	785438.256	9416072.06	75.004
	SD.8	785351.413	9416122.246	75.035
	SD.15	785451.548	9416095.149	90.085
	SD.16	785365.057	9416145.241	90.105
	SD.23	785547.079	9416061.008	100.005
	SD.24	785460.498	9416110.905	99.954
Hulu	SD.25	785373.82	9416160.544	100.186
	SD.31	785564.995	9416091.845	99.708
	SD.32	785478.326	9416141.074	99.779
	SD.33	785391.379	9416191.032	100.094
	SD.34	785304.643	9416240.632	100.273
	SD.40	Dibawah Muka Air		
	SD.41			
SD.42				

Sumber : Laporan Patok Geser Bili-Bili 2023

Pergeseran Pada Bendungan Sayap Kiri (LWD)

Hasil dari interpretasi pembacaan patok geser adalah:

- Deviasi Pada puncak bendungan Paling tertinggi -0.167 m pada patok Geser CD. 15 dan lereng hulu terjadi penurunan tertinggi pada patok geser SD. 59 sebesar -0.360 m sedangkan lereng hilir cenderung naik namun pada patok SD 56 mengalami penurunan tertinggi sebesar -0.025 m .
- Pergeseran vertical; Pada puncak bendungan cenderung mengalami kenaikan dengan Paling tertinggi 0.176 m pada patok Geser CD. 15 dan lereng hulu cenderung naik 0.363 m pada patok geser SD. 60 sedangkan lereng hilir cenderung naik, namun terjadi penurunan pada titik -0.057 m pada patok geser SD. 46 .
- Pergeseran horisontal; Pada puncak bendungan terjadi Penurunan dengan Paling tertinggi -0.087 m pada patok Geser CD. 16 dan lereng hulu cenderung naik 0.105 m pada patok geser SD. 57 sedangkan lereng hilir cenderung naik namun ada yang mengalami penurunan pada patok geser SD 55 sebesar -0.198 m

Pergeseran Pada Bendungan (Main Dam)

Hasil dari interpretasi pembacaan patok geser adalah:

- Deviasi Pada puncak bendungan mengalami penurunan Paling tertinggi -0.295 m pada patok Geser CD.15 dan lereng hulu cenderung yang mengalami penurunan pada patok geser SD 29 sebesar -0.618 sedangkan lereng hilir -0.358 m pada patok geser SD.20
- Pergeseran vertical; Pada puncak bendungan terjadi penurunan dengan Paling tertinggi -0.025 m pada patok Geser CD. 2 dan lereng hulu cenderung naik sebesar 0.077 m pada patok geser SD.26 sedangkan lereng hilir Terjadi kenaikan sebesar -0.334 m pada patok geser SD.17.
- Pergeseran horisontal; Pada puncak bendungan terjadi Penurunan dengan Paling tertinggi -0.062 m pada patok Geser CD. 6 dan lereng hulu penurunan tertinggi sebesar -0.242 pada patok geser SD.30 sedangkan lereng hilir terjadi penurunan sebesar -0.103 m pada patok geser SD.21

Pergeseran Pada Bendungan Sayap Kanan (RWD)

Hasil dari interpretasi pembacaan patok geser adalah:

- Deviasi Pada puncak bendungan mengalami penurunan Paling tertinggi -0.232 m pada patok Geser CD.19 dan lereng hulu yang mengalami penurunan pada patok geser SD. 31 sebesar -0.421 m sedangkan lereng hilir terjadi penurunan sebesar -0.199 m pada patok geser SD.24.
- Pergeseran vertical; Pada puncak bendungan terjadi Kenaikan dengan Paling tertinggi 0.305 m pada patok Geser CD.8 dan lereng hulu cenderung naik 0.546 m pada patok geser SD.31 sedangkan lereng hilir cenderung naik sebesar 0.758 m pada patok geser SD.8
- Pergeseran horisontal; Pada puncak bendungan terjadi penurunan dengan Paling tertinggi -0.042 m pada patok Geser CD. 10 dan lereng hulu cenderung turun sebesar -0.094 m pada patok geser SD.31 sedangkan lereng hilir cenderung naik 0.478 m pada patok geser SD.8.

Pembahasan Penilaian Deformasi Permukaan Tubuh Bendungan

Seiring waktu, bangunan besar seperti bendungan akan menimbulkan perubahan terhadap bangunan itu sendiri maupun pondasi yang umumnya merupakan penurunan atau pergeseran yang mengikuti arah beban bangunan maupun beban air. Namun berdasarkan analisis data digunakan, Secara teoritis hal tersebut dapat terjadi karena dua hal. Pertama, gaya hidraulik menekan tubuh bendungan searah dengan arah aliran yang menimbulkan tarikan ke atas pada urugan batu, hal tersebut kemudian dipengaruhi oleh adanya gaya tahan kuncian batu arah vertikal. Resultan dari kedua gaya tersebut menimbulkan kenaikan elevasi maupun pergeseran material urugan batu (Ravindra, Sigtryggsdottir, & Lia, 2021). Kedua, adalah munculnya getaran gempa yang menyebabkan material urugan batu sedikit demi sedikit bergerak menghasilkan perubahan kepadatan karena muncul renggangan di dalamnya (M. K. Kim, Lee, Choo, & Kim, 2011). Pergeseran permukaan tubuh bendungan secara vertikal (settlement) maupun horisontal dimonitor dengan pengukuran (survey) monument (patok geser) dan hasilnya diplotkan didalam bentuk grafik-grafik seperti diatas. Berdasarkan grafik-grafik tersebut dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Settlement di hulu dan hilir permukaan tubuh bendungan masih terjadi sampai pada pengukuran terakhir pada Tahun 2023. Pada Left Wing Dam maksimum settlement pada lereng hulu adalah -0.360 m (SD 59) dan lereng hilir adalah -0.025 m (SD 56). Pada Main Dam maksimum settlement pada lereng hulu adalah -0.618

m (SD 29) dan lereng hilir adalah -0.358 m. (SD 14) Pada Right Wing Dam maksimum settlement pada lereng hulu adalah -0.421 m (SD 31) dan lereng hilir adalah -0.199 m. (SD 24)

- 2) Settlement pada permukaan puncak bendungan masih terjadi sampai pada pengukuran terakhir pada tahun 2023. Pada Left Wing Dam maksimum settlement adalah -0.167 m (CD 15). Pada Main Dam maksimum settlement adalah -0.295 m (CD 15). Pada Right Wing Dam maksimum settlement adalah -0.232 m. (CD 19)

Setelah tren settlement patok geser dari LWD, Main Dam dan RWD diketahui, selanjutnya persentase selisih posisi awal patok geser dengan posisi patok geser saat survei dibandingkan terhadap kriteria penerimaannya. Hasil perhitungan persentase settlement patok geser yang lebih besar dari kriteria penerimaan pada Tabel 4.11 dinyatakan tidak memenuhi kriteria penerimaan (TM), jika persentasenya berada pada rentang nilai kriteria penerimaan maka dinyatakan memenuhi kriteria penerimaan (M). kecuali Pedoman Desain dan Konstruksi Bendungan Urugan Batu Membran Beton. Namun, hal itu bukan berarti bendungan bisa langsung dianggap tidak aman. Hal tersebut disebabkan oleh besaran persentase settlement dalam pedoman yang diatur lebih rendah jika dibandingkan dengan persentase settlement dalam kriteria penerimaan yang lain. Kecilnya persentase settlement yang diizinkan dalam pedoman dianggap wajar jika melihat minimnya penelitian terhadap bendungan tipe UBMB di Indonesia sehingga perlu margin of safety yang lebih besar.

4. CONCLUSION

Setelah dilakukan pengukuran dan penggambaran grafik pergerakan secara horizontal yaitu searah As Bendungan dan tegak lurus pada As Bendungan maka diketahui titik kontrol yang mengalami deviasi dengan tren normal dari tahun 1997 sampai tahun 2023 terjadi pergerakan mencapai sekitar 1 - 29 cm, Sedangkan dari tahun 2022 sampai tahun 2023 terjadi deviasi dengan tren normal mencapai 0.1 cm – 0.6 cm, namun diantara 71 titik patok geser beberapa titik yang memiliki deviasi lebih dari 30 cm terhadap Pengukuran tahun 1997 sampai dengan tahun 2023 adalah : SD.59, SD.60, SD 17, SD.7, SD.8, SD.16, SD.31, Dan SD.32. Selain mengetahui pergerakan secara horizontal maka juga dihitung pergerakan yang terjadi secara vertikal (settlement). Dari data yang diperoleh dan setelah digambarkan dengan grafik, maka dilihat settlement yang terjadi mengikuti trend yang terjadi tiap tahunnya. Dan tidak ada penurunan yang sangat signifikan. Meningkatkan kualitas data monitoring dengan melakukan pencatatan instrumentasi secara tertib dan berkala khususnya yang berhubungan dengan pengukur deformasi untuk menilai perilaku bendungan serta melakukan rekapitulasi dan perbandingan dengan tinjauan lapangan, evaluasi pembacaan instrumentasi serta pemodelan numerik dan atau pemodelan fisik untuk memberikan gambaran tentang perilaku bendungan secara lengkap dan mendalam.

5. ACKNOWLEDGMENTS (Optional)

Penulis menyampaikan apresiasi yang mendalam kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi dan dukungan dalam penelitian ini. Bantuan dan dorongan mereka sangat berharga untuk mewujudkan penelitian ini. Terima kasih atas waktu, saran, dan bimbingan yang diberikan. Semoga hasil penelitian ini bermanfaat kepada semua pihak.

6. REFERENCES

- Aji, Y. W., Sudarsono, B., & Amarrohman, F. J. (2016). Pengolahan Data GPS Menggunakan Software Gamit 10.6 Dan Topcon Tools V. 8 Pada Pengukuran Deformasi Bendungan Jatibarang Tahun 2015. *Jurnal Geodesi Undip*, 5(2), 55-65.
- Arifin, M. Z., Purwana, Y. M., & Dananjaya, R. H. (2021, July). Seepage and Piping Control of Earth Fill Dam: (Case Study of Pidekso Dam Indonesia). In *International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering* (pp. 311-322). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Darmawan, A., Fathani, T. F., & Satyarno, I. (2018). Analisis Perilaku Terowongan Sirkular Akibat Beban Gempa Dengan Pemodelan Elemen Hingga. *Prosiding SENIATI*, 4(1), 339-347.
- Fata, Y. A., & Suhartanto, E. (2018). Analisis Stabilitas Lereng Bendungan Sutami Berdasarkan Peta Gempa 2017. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan*, 1.
- Hazim, M. F., Sukamta, S., & Suprpto, S. Evaluasi Keamanan Bendungan Telaga Tunjung dari Tinjauan Deformasi Vertikal Menggunakan Analisis Data Instrumentasi Patok Geser. *TEKNIK*, 45(1), 11-18.
- Hutami, R. S., Nugroho, H., & Edhisono, S. (2023). Evaluasi Perilaku Deformasi Vertikal Bendungan Sermo

Berdasarkan Data Instrumentasi Geoteknik. *Racic: Rab Construction Research*, 8(1), 1-12.

- Indrawan, D., Tanjung, M. I., Setyawan, H. E., & Sadikin, N. (2015). Analisis Statik dan Dinamik Retakan Memanjang di Puncak Bendungan Sutami. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 6(1), 77-90.
- Istiaji, M. S., Sriyana, S., & Sadono, K. W. (2021). Behavioral Study of Bajulmati Dam Deformation Through Dam History Database-based Assessment. *TEKNIK*, 42(2), 186-198.
- Kurniawan, F. A., Wardani, S. P. R. S. P. R., & Sadono, K. W. (2021). Perilaku Deformasi Bendungan Jatibarang. *Teras Jurnal*, 11(2), 531.
- Kurniawan, F. A., Wardani, S. P. R. S. P. R., & Sadono, K. W. (2021). Perilaku Deformasi Bendungan Jatibarang. *Teras Jurnal*, 11(2), 531.
- Nala, I. M. A., Sangkawati, S., & Putranto, T. T. (2021). Pengaruh Muka Air Waduk Saat Pengisian Awal Terhadap Deformasi dan Rekahan pada Tubuh Bendungan (Studi Kasus: Bendungan Titab). *Jurnal Geosains Dan Teknologi*, 4(3), 168-182.
- Pratama, S. E., & Sukamta, S. Evaluasi Deformasi Vertikal Timbunan Tubuh Bendungan Sepaku Semoi Berdasarkan Data Pembacaan Multilayer Settlement Menggunakan Metode Prediksi Deformasi Saat Konstruksi. *TEKNIK*, 45(1), 30-40.
- Pratomo, D. A. P., Suharyanto, & Atmojo, P. S. (2021). Deformasi Bendungan Cirata berdasarkan Analisis Data Instrumen Patok Geser. *Jurnal Teknik*, 19(2), 96-106.
- Purwanto Deri Riski, Laode M Sabri, & Awaluddin Moehammad. (2021). Pemantauan Deformasi Bendungan Jatibarang Menggunakan Survei GNSS Tahun 2017-2020. *Jurnal Geodesi Undip*, 10(1), 31-39.
- Rudi Purwoko, F., Sudarsono, B., & Janu Amarrohman, F. (2017). Pemantauan deformasi bendungan Jatibarang menggunakan scientific software GAMIT 10.6 dengan titik ikat IGS dan CORS CSEM tahun 2016. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(April), 37-45.
- Soetjiono, C. (2010). Perilaku Dan Keamanan Bendungan Manggar, Kalimantan Timur. *Jurnal Sumber Daya Air*, 6(2), 189-204.
- Suhada, B., & Nugroho, H. (2022). EVALUASI PERILAKU DEFORMASI VERTIKAL BENDUNGAN SAGULING. *Journal of Syntax Literate*, 7(1).
- Suprpto, R. E., Japarussidik, J., Sriyana, S., & Sadono, K. W. (2021). Penilaian Risiko Bendungan Pelaparado Berbasis Metode Modifikasi ICOLD dan Metode Indeks Risiko. *Teknik*, 42(2), 226-235.
- Suprpto, R. E., Japarussidik, J., Sriyana, S., & Sadono, K. W. (2021). Penilaian Risiko Bendungan Pelaparado Berbasis Metode Modifikasi ICOLD dan Metode Indeks Risiko. *Teknik*, 42(2), 226-235.
- Tanjung, M. I., Sari, R. N., & Ghafara, R. (2017). Screening analysis stabilitas lereng bendungan urugan akibat gempa di Indonesia. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 8(1), 43-56.
- Yusuf, M. A., Yuwono, B. D., & Prasetyo, Y. (2015). Pengamatan GPS Untuk Monitoring Deformasi Bendungan UNDIP. *Jurnal Geodesi Undip*, 4(4), 325-333.
- Zaky, F., Nugroho, H., & Edhisono, S. (2023). Analisa Kebutuhan Instrumentasi Geoteknik Dry Dam Bendungan Sawangan Kabupaten Minahasa Utara. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 7(2), 123-136.