

PENINJAUAN INSTRUMENTASI INCLINOMETER SYSTEM SEBAGAI ALAT PANTAU PERGERAKAN HORIZONTAL TUBUH BENDUNGAN (STUDI KASUS PROYEK PEMBANGUNAN BENDUNGAN JLANTAH, KABUPATEN KARANGANYAR)

Syakirah Salsabila¹, Lisa Fitriyana², Rifqi Brilyant Arief³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung, syahirahsalsabillaaa@gmail.com

ABSTRAK

Bendungan urugan tanah memiliki potensi mengalami kerusakan yang dapat disebabkan oleh deformasi lateral pada tubuh bendungan. Oleh karena itu, diperlukan metode pemantauan yang akurat dan sistematis untuk memantau pergerakan tersebut. Penelitian ini meninjau efektivitas penggunaan instrumentasi *inclinometer system* sebagai alat pantau pergerakan *horizontal* struktur tubuh bendungan pada Proyek Pembangunan Bendungan Jlantah di Kabupaten Karanganyar. Data penelitian diperoleh melalui monitoring rutin pada empat titik inclinometer (ITS.1, ITS.2, ITS.3 dan ITS.4) selama periode Januari 2024 hingga Desember 2024. Hasil monitoring perangkat *inclinometer system* berupa koordinat untuk setiap kedalaman dengan kelipatan 0.5 meter, diolah dan dianalisis untuk mengidentifikasi pola pergerakan, besaran, dan arahnya dengan menerapkan perhitungan *manual* menerapkan rumus yang terdapat pada Lampiran B.2 SNI 3404:2008. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa terjadi pergerakan horizontal pada keempat titik instrumentasi, dengan besaran pergerakan yang mayoritas masih kecil, yaitu di bawah 11 milimeter, terbukti dengan belum terjadi perubahan struktur tubuh bendungan yang terlihat secara visual. Pergerakan dominan terjadi pada kedalaman tertentu dan dipengaruhi oleh faktor-faktor geoteknik dan konstruksi. Penelitian ini membuktikan bahwa *inclinometer system* merupakan alat yang efektif dan andal untuk memantau perilaku deformasi horizontal bendungan, memberikan informasi kritis untuk memastikan keamanan dan stabilitas struktur bendungan.

Kata kunci : *Inclinometer System, Pergerakan Horizontal, Bendungan Jlantah*

Penerbit : Fakultas Teknik Universitas Pasifik Morotai

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bendungan merupakan salah satu infrastruktur vital dalam pengelolaan sumber daya air, dimana konstruksi bendungan berfungsi sebagai media menampung air dalam jumlah besar yang mana merupakan upaya dalam menjaga ketahanan air serta pesediaan pangan di Indonesia. Keamanan serta stabilitas bendungan merupakan aspek krusial yang harus dipantau selama tahap konstruksi hingga masa operasional. Adapun kestabilan dari tubuh bendungan dipengaruhi oleh perilaku geoteknik dari material penyusunnya. Umumnya, kerusakan pada bendungan dengan komponen penyusun berupa urugan tanah diakibatkan oleh longsor yang terjadi pada lereng bendungan (sliding) serta perilaku deformasi yang tidak normal. Potensi tersebut dapat dipantau secara rutin dengan menerapkan teknologi berupa instrumentasi geoteknik. Instrumentasi geoteknik memiliki peran penting

dalam manajemen keamanan struktur bendungan, dengan menyediakan data *real – time* mengenai kondisi bendungan yang tidak bisa diamati secara visual. Salah satu perangkat instrumentasi geoteknik yang memiliki fungsi utama yaitu untuk mendeteksi pergerakan yang terjadi di dalam tanah yaitu perangkat *inclinometer system*.

Perangkat *inclinometer system* terdiri dari tabung *inclinometer* yang dipasang arah vertical di dalam tubuh bendungan, dimana tabung tersebut berisi sensor yang dapat mengukur kemiringan tabung pada setiap kelipatan suatu kedalaman. Sehingga, dari perubahan kemiringan yang terbaca oleh *probe* yang dimasukkan ke dalam tabung *inclinometer system* tersebut, dapat diinterpretasi untuk menghitung besar nilai dan arah pergerakan lateral yang terjadi. Apabila pembacaan tabung *inclinometer system* ini dilakukan dan diolah secara rutin, maka akan didapatkan visualisasi profil pergerakan di kedalaman tertentu serta dapat mengidentifikasi zona kritis.

Proyek Pembangunan Bendungan Jlantah merupakan salah satu konstruksi bendungan yang sudah mengaplikasikan perangkat *inclinometer system*. Pemantauan pergerakan *horizontal* yang terjadi pada tubuh bendungan Proyek Pembangunan Bendungan Jlantah belum dilakukan sesuai dengan standar yang berlaku, yaitu SNI 3404:2008. Sehingga, besar nilai pergerakan, arah dari pergerakan serta area yang berpotensi sebagai bidang geser pada konstruksi tubuh bendungan Proyek Pembangunan Bendungan Jlantah belum diketahui secara pasti.

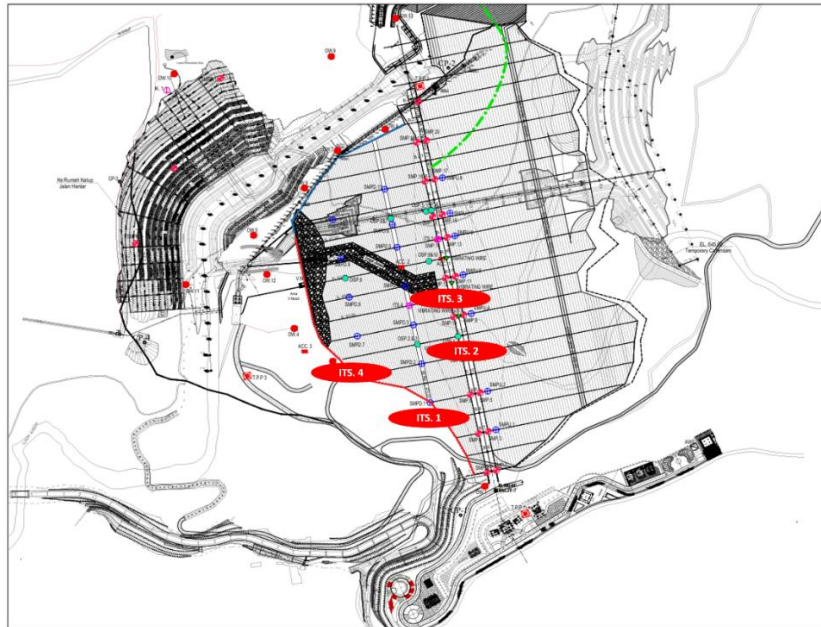
Oleh karena itu, penelitian ini memiliki tujuan untuk meninjau bagaimana data dari hasil *monitoring* perangkat *inclinometer system* dapat diolah dan dianalisis sehingga pergerakan *horizontal* dari struktur tubuh bendungan pada Proyek Pembangunan Bendungan Jlantah dapat terbaca dengan jelas. Dengan mengolah data dari beberapa periode waktu pembacaan perangkat *inclinometer system*, kita dapat melihat evolusi pergerakan seiring berjalannya proses konstruksi dan respons geomekanis dari bendungan urugan tanah terhadap kondisi lapangan.

1.2 Jenis Penelitian

Pengerjaan penelitian ini berupa eksperimen di lapangan dengan menggunakan dokumentasi kegiatan pelaksanaan pekerjaan *inclinometer system* serta hasil wawancara kepada teknisi lapangan terkait pekerjaan pemasangan serta *monitoring* perangkat *inclinometer system* pada Proyek Pembangunan Bendungan Jlantah sebagai data primer. Adapun data sekunder yang digunakan meliputi hasil *monitoring* dari *inclinometer system* serta arsip dokumen yang diperoleh dari sub-kontraktor pelaksana pekerjaan instrumentasi, kontraktor pelaksana Proyek Pembangunan Bendungan Jlantah.

1.3 Objek dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini difokuskan membahas perangkat *inclinometer system* yang terpasang di struktur tubuh bendungan pada Proyek Pembangunan Bendungan Jlantah sebanyak empat titik pemasangan. Adapun proyek ini terletak di Desa Tlobo, Kecamatan Jatiyoso, Kabupaten Karanganyar. Penelitian dilakukan dalam jangka waktu satu tahun dimulai dari bulan Januari 2024 sampai dengan bulan Desember 2024, tepat pada masa konstruksi.



Gambar 1. Lokasi Objek Penelitian (Arsip Proyek Pembangunan Bendungan Jlantah, 2024).

2 TEKNIK ANALISA DATA

2.1 Pelaksanaan *Monitoring Perangkat Inclinator System*

Kegiatan monitoring atau pengukuran instrumentasi *inclinator system* menurut SNI 3404:2008, dapat dilakukan dengan mengukur kedalaman pipa inclinometer dengan menempatkan *probe* ke dalam lubang pipa *inclinator system* dan turunkan ke bawah dengan perlahan hingga *probe* mencapai dasar dari lubang pipa *inclinator system*.

Kegiatan *monitoring* dilanjutkan dengan melakukan pengukuran pergerakan *horizontal* dengan menarik kabel *probe* kearah atas dengan perlahan sembari mencatat angka pergerakan lateral pada saat tanda kabel menyentuh sisi pipa *inclinator system* bagian atas, lanjutkan langkah ini dengan *interval* kedalaman setiap 0.5 meter, lakukan pembacaan untuk setiap alur pembacaan, setelah pengukuran selesai dilakukan, tutup kembali pipa *inclinator system* menggunakan penutup pipa dan pasang kembali rangka pengaman pipa.

Menurut SNI 3404:2008, *monitoring* atau pengukuran instrumentasi inclinometer dapat dilakukan sesuai dengan jadwal yang ditentukan, seperti berikut.

Tabel 1 Ketentuan Waktu Pembacaan Instrumentasi Inclinator System (SNI 3404:2008)

Kondisi Bangunan	Waktu Pembacaan
Masa pembangunan	2 hari
Setelah penambahan beban atau beban luar mulai bekerja	1 minggu
Selama penundaan pembangunan	2 minggu
Akibat beban tetap dalam waktu lama	6 bulan
Kadaan khusus karena beban berkurang tiba – tiba, gempa dan lainnya	Sesuai dengan petunjuk tenaga ahli

2.2 Pengolahan Data

Data hasil *monitoring* yang diperoleh dari teknisi lapangan terkait pelaksanaan pekerjaan *inclinometer system* berupa dokumen yang berisi koordinat untuk empat alur yang terekam pada sensor *probe* dilengkapi dengan kedalaman koordinat itu diperoleh. Hasil koordinat tersebut merupakan konversi dari nilai kemiringan yang sudah diolah oleh *device* khusus, dalam hal ini *device soil instrument*, sehingga dari nilai kemiringan dan panjang *probe* yang sudah diketahui, dapat dihitung koordinat atau titik pergerakan terjadi.

Gambar 2. Potongan Hasil *Monitoring* Perangkat *Inclinometer System* 4 Format .txt

Koordinat tersebut berikutnya perlu ditata pada *Microsoft Excel* dan diolah menggunakan rumus perhitungan yang terdapat pada Lampiran Tabel B.2 SNI 3404:2008. Terdapat empat alur sebagai kategori arah pergerakan lateral yang terjadi pada struktur timbunan bendungan, dengan alur a dan b menunjukkan pergerakan yang terjadi ke arah hulu (*upstream*) – hilir (*downstream*) serta alur c dan d menunjukkan pergerakan yang terjadi ke arah sandaran kiri (*left side*) – sandaran kanan (*right side*).

Tabel 2 Hasil Penyusunan Data *Monitoring Inclinometer System* 4 pada Tanggal 28 Mei 2024

Kedalaman	Koordinat			
	Alur A	Alur B	Alur C	Alur D
0.5	-0.706	0.541	-1.695	1.680
1.0	-0.837	0.658	-1.454	1.376
1.5	-0.894	0.745	-0.583	0.536
2.0	-0.277	0.086	-1.053	1.002
2.5	-0.871	-0.092	-1.153	1.056
3.0	-0.507	1.142	0.306	-0.468
3.5	-1.708	1.525	0.677	-0.738
4.0	-2.373	2.196	1.697	-1.768
4.5	-4.805	4.647	2.919	-2.928
5.0	-3.535	3.355	1.444	-1.536

5.5	-2.925	2.754	1.186	-1.237
6.0	-2.663	2.500	0.959	-1.014
6.5	-1.823	1.655	0.942	-1.009
7.0	-1.902	1.747	0.539	-0.589
7.5	-1.996	1.795	-0.596	0.509
8.0	-0.777	0.616	-0.129	0.065
8.5	-0.236	0.062	0.120	-0.186
9.0	-1.782	1.650	0.921	-0.991
9.5	0.315	-0.485	-0.118	0.077
10.0	0.873	-1.079	-0.305	0.275
10.5	1.259	-1.399	-0.752	0.683
11.0	0.779	-0.900	-0.553	0.521
11.5	-0.624	0.438	-0.570	0.497
12.0	-1.471	1.342	-0.259	0.160
12.5	-1.634	1.443	-1.214	1.125
13.0	-0.579	0.397	-0.253	0.205
13.5	-1.312	1.175	0.285	-0.378
14.0	-0.089	-0.128	-0.423	0.359
14.5	-0.948	0.792	-0.531	0.495
15.0	-0.472	0.276	0.083	-0.153
15.5	-0.226	0.082	-0.903	0.850
16.0	0.284	-0.468	-0.164	0.132
16.5	0.128	-0.336	-0.164	0.053
17.0	0.314	-0.452	0.244	-0.301
17.5	-0.770	0.642	0.179	-0.212
18.0	0.826	-0.893	1.092	-1.428
18.5	0.581	-0.699	2.705	-2.716
19.0	-0.616	0.549	-0.611	0.564
19.5	-2.215	2.085	-1.485	1.461
20.0	-3.213	3.049	-2.070	1.995
20.5	-3.252	3.054	-2.237	2.186

Tabel 3 Hasil Pengolahan Data *Monitoring Inclinometer System 4* Alur A dan Alur B pada Tanggal 28 Mei 2024

MD	Alur A		Alur B		Rata - Rata		Awal Bacaan	Pergerakan
	Inclino	Kumulatif	Inclino	Kumulatif	Inclino	Kumulatif		
(1)	(2)	(3) = (2)a + (3)b	(4)	(5) = (4)a + (5)b	(6) = 1/2[(2)+(4)]	(7) = (6)a + (7)b	(8)	(9) = (7)-(8)
0.5	-0.706	-42.679	0.541	36.067	-0.083	-3.306	-1.334	-1.972
1.0	-0.837	-41.973	0.658	35.526	-0.090	-3.224	-1.230	-1.994
1.5	-0.894	-41.136	0.745	34.868	-0.075	-3.134	-1.150	-1.985
2.0	-0.277	-40.242	0.086	34.123	-0.096	-3.060	-1.061	-1.999
2.5	-0.871	-39.965	-0.092	34.037	-0.482	-2.964	-0.975	-1.990
3.0	-0.507	-39.094	1.142	34.129	0.318	-2.483	-0.450	-2.033

3.5	-1.708	-38.587	1.525	32.987	-0.092	-2.800	-0.807	-1.993
4.0	-2.373	-36.879	2.196	31.462	-0.089	-2.709	-0.721	-1.988
4.5	-4.805	-34.506	4.647	29.266	-0.079	-2.620	-0.638	-1.982
5.0	-3.535	-29.701	3.355	24.619	-0.090	-2.541	-0.544	-1.997
5.5	-2.925	-26.166	2.754	21.264	-0.085	-2.451	-0.466	-1.985
6.0	-2.663	-23.241	2.500	18.510	-0.081	-2.366	-0.389	-1.977
6.5	-1.823	-20.578	1.655	16.010	-0.084	-2.284	-0.309	-1.975
7.0	-1.902	-18.755	1.747	14.355	-0.077	-2.200	-0.256	-1.944
7.5	-1.996	-16.853	1.795	12.608	-0.101	-2.123	-0.167	-1.956
8.0	-0.777	-14.857	0.616	10.813	-0.081	-2.022	-0.083	-1.940
8.5	-0.236	-14.080	0.062	10.197	-0.087	-1.942	0.000	-1.942
9.0	-1.782	-13.844	1.650	10.135	-0.066	-1.855	0.000	-1.855
9.5	0.315	-12.062	-0.485	8.485	-0.085	-1.789	0.000	-1.789
10.0	0.873	-12.377	-1.079	8.970	-0.103	-1.704	0.000	-1.704
10.5	1.259	-13.250	-1.399	10.049	-0.070	-1.601	0.000	-1.601
11.0	0.779	-14.509	-0.900	11.448	-0.061	-1.531	0.000	-1.531
11.5	-0.624	-15.288	0.438	12.348	-0.093	-1.470	0.000	-1.470
12.0	-1.471	-14.664	1.342	11.910	-0.065	-1.377	0.000	-1.377
12.5	-1.634	-13.193	1.443	10.568	-0.095	-1.313	0.000	-1.313
13.0	-0.579	-11.559	0.397	9.125	-0.091	-1.217	0.000	-1.217
13.5	-1.312	-10.980	1.175	8.728	-0.069	-1.126	0.000	-1.126
14.0	-0.089	-9.668	-0.128	7.553	-0.109	-1.058	0.000	-1.058
14.5	-0.948	-9.579	0.792	7.681	-0.078	-0.949	0.000	-0.949
15.0	-0.472	-8.631	0.276	6.889	-0.098	-0.871	0.000	-0.871
15.5	-0.226	-8.159	0.082	6.613	-0.072	-0.773	0.000	-0.773
16.0	0.284	-7.933	-0.468	6.531	-0.092	-0.701	0.000	-0.701
16.5	0.128	-8.217	-0.336	6.999	-0.104	-0.609	0.000	-0.609
17.0	0.314	-8.345	-0.452	7.335	-0.069	-0.505	0.000	-0.505
17.5	-0.770	-8.659	0.642	7.787	-0.064	-0.436	0.000	-0.436
18.0	0.826	-7.889	-0.893	7.145	-0.034	-0.372	0.000	-0.372
18.5	0.581	-8.715	-0.699	8.038	-0.059	-0.339	0.000	-0.339
19.0	-0.616	-9.296	0.549	8.737	-0.034	-0.280	0.000	-0.280
19.5	-2.215	-8.680	2.085	8.188	-0.065	-0.246	0.000	-0.246
20.0	-3.213	-6.465	3.049	6.103	-0.082	-0.181	0.000	-0.181
20.5	-3.252	-3.252	3.054	3.054	-0.099	-0.099	0.000	-0.099

Tabel 4 Hasil Pengolahan Data *Monitoring Inclinometer System 4* Alur C dan Alur D pada Tanggal 28 Mei 2024

MD	Alur C		Alur D		Rata - Rata		Awal Bacaan	Pergerakan
	Inclino	Kumulatif	Inclino	Kumulatif	Inclino	Kumulatif		
(1)	(2)	(3) = (2)a + (3)b	(4)	(5) = (4)a + (5)b	(6) = 1/2[(2)+(4)]	(7) = (6)a + (7)b	(8)	(9) = (7)-(8)
0.5	-1.695	-2.977	1.680	0.210	-0.008	-1.384	-0.126	-1.258
1.0	-1.454	-1.282	1.376	-1.470	-0.039	-1.376	-0.194	-1.182

1.5	-0.583	0.172	0.536	-2.846	-0.024	-1.337	-0.185	-1.152
2.0	-1.053	0.755	1.002	-3.382	-0.026	-1.314	-0.174	-1.140
2.5	-1.153	1.808	1.056	-4.384	-0.049	-1.288	-0.149	-1.139
3.0	0.306	2.961	-0.468	-5.440	-0.081	-1.240	-0.108	-1.132
3.5	0.677	2.655	-0.738	-4.972	-0.031	-1.159	-0.124	-1.035
4.0	1.697	1.978	-1.768	-4.234	-0.036	-1.128	-0.114	-1.015
4.5	2.919	0.281	-2.928	-2.466	-0.004	-1.093	-0.102	-0.991
5.0	1.444	-2.638	-1.536	0.462	-0.046	-1.088	-0.093	-0.995
5.5	1.186	-4.082	-1.237	1.998	-0.026	-1.042	-0.083	-0.960
6.0	0.959	-5.268	-1.014	3.235	-0.028	-1.017	-0.082	-0.935
6.5	0.942	-6.227	-1.009	4.249	-0.034	-0.989	-0.091	-0.899
7.0	0.539	-7.169	-0.589	5.258	-0.025	-0.956	-0.057	-0.899
7.5	-0.596	-7.708	0.509	5.847	-0.044	-0.931	-0.045	-0.886
8.0	-0.129	-7.112	0.065	5.338	-0.032	-0.887	-0.022	-0.865
8.5	0.120	-6.983	-0.186	5.273	-0.033	-0.855	0.000	-0.855
9.0	0.921	-7.103	-0.991	5.459	-0.035	-0.822	0.000	-0.822
9.5	-0.118	-8.024	0.077	6.450	-0.021	-0.787	0.000	-0.787
10.0	-0.305	-7.906	0.275	6.373	-0.015	-0.767	0.000	-0.767
10.5	-0.752	-7.601	0.683	6.098	-0.035	-0.752	0.000	-0.752
11.0	-0.553	-6.849	0.521	5.415	-0.016	-0.717	0.000	-0.717
11.5	-0.570	-6.296	0.497	4.894	-0.037	-0.701	0.000	-0.701
12.0	-0.259	-5.726	0.160	4.397	-0.050	-0.665	0.000	-0.665
12.5	-1.214	-5.467	1.125	4.237	-0.045	-0.615	0.000	-0.615
13.0	-0.253	-4.253	0.205	3.112	-0.024	-0.571	0.000	-0.571
13.5	0.285	-4.000	-0.378	2.907	-0.047	-0.547	0.000	-0.547
14.0	-0.423	-4.285	0.359	3.285	-0.032	-0.500	0.000	-0.500
14.5	-0.531	-3.862	0.495	2.926	-0.018	-0.468	0.000	-0.468
15.0	0.083	-3.331	-0.153	2.431	-0.035	-0.450	0.000	-0.450
15.5	-0.903	-3.414	0.850	2.584	-0.027	-0.415	0.000	-0.415
16.0	-0.164	-2.511	0.132	1.734	-0.016	-0.389	0.000	-0.389
16.5	-0.164	-2.347	0.053	1.602	-0.056	-0.373	0.000	-0.373
17.0	0.244	-2.183	-0.301	1.549	-0.029	-0.317	0.000	-0.317
17.5	0.179	-2.427	-0.212	1.850	-0.017	-0.289	0.000	-0.289
18.0	1.092	-2.606	-1.428	2.062	-0.168	-0.272	0.000	-0.272
18.5	2.705	-3.698	-2.716	3.490	-0.006	-0.104	0.000	-0.104
19.0	-0.611	-6.403	0.564	6.206	-0.024	-0.099	0.000	-0.099
19.5	-1.485	-5.792	1.461	5.642	-0.012	-0.075	0.000	-0.075
20.0	-2.070	-4.307	1.995	4.181	-0.037	-0.063	0.000	-0.063
20.5	-2.237	-2.237	2.186	2.186	-0.026	-0.026	0.000	-0.026

2.3 Teknik Analisa Data

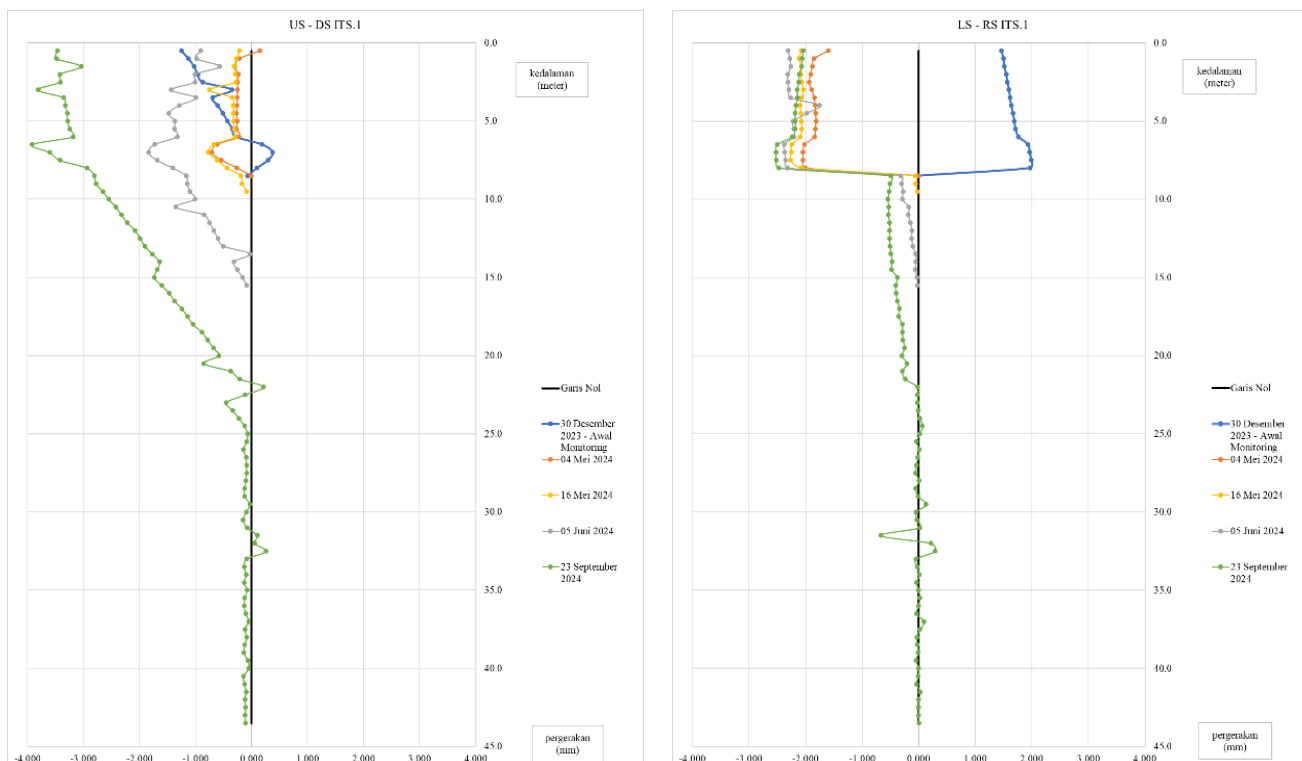
Analisa data bertujuan untuk menginterpretasikan data yang sebelumnya telah diolah sehingga dapat ditarik kesimpulan yang valid dari hasil tersebut. Adapun Analisa data dilakukan dengan membandingkan setiap pergerakan yang terdeteksi pada empat titik pemasangan perangkat *inclinometer system*. Analisis mencakup

identifikasi besar dan pola gerakan di dalam tanah, dengan hasil akhir berupa grafik pergerakan *horizontal* kumulatif terhadap kedalaman yang akan mempermudah visualisasi profil deformasi yang terjadi pada struktur tubuh bendungan Proyek Pembangunan Bendungan Jlantah.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa instrumentasi *inclinometer system* pada Proyek Pembangunan Bendungan Jlantah mampu merekam pergerakan *horizontal* yang terjadi pada struktur tubuh bendungan dengan sangat akurat dan terperinci. Data yang terkumpul dari empat titik *inclinometer system* (ITS.1, ITS.2, ITS.3 dan ITS.4) selama periode Januari 2024 hingga Desember 2024 memberikan gambaran yang jelas mengenai perilaku deformasi bendungan selama tahapan konstruksi. Setiap pembacaan data, yang dilakukan secara berkala, menunjukkan adanya pergerakan yang bervariasi tergantung pada kedalaman, lokasi, dan waktu pengukuran, yang mana hal ini sangat penting untuk dipahami secara menyeluruh guna menilai stabilitas struktur. Berdasarkan pengolahan data, pergerakan yang terukur pada setiap titik *inclinometer system* tidak menunjukkan adanya indikasi ketidakstabilan yang signifikan.

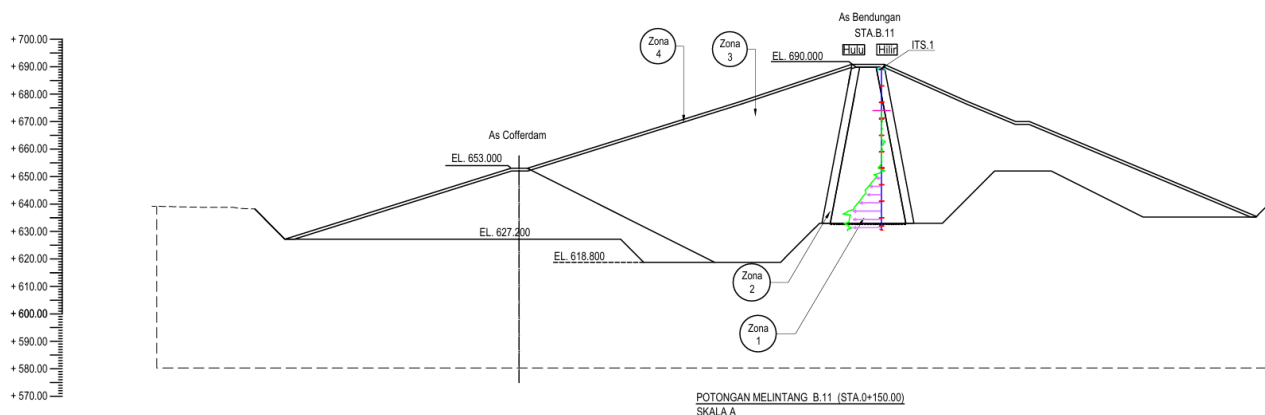
3.1 Analisa Hasil *Monitoring Perangkat Inclinometer System 1 (ITS.1)*



Gambar 3. Grafik Pergerakan *Horizontal* Tubuh Bendungan B.11 Hilir Alur A - B dan Alur C - D pada *Inclinometer System 1 (ITS.1)*

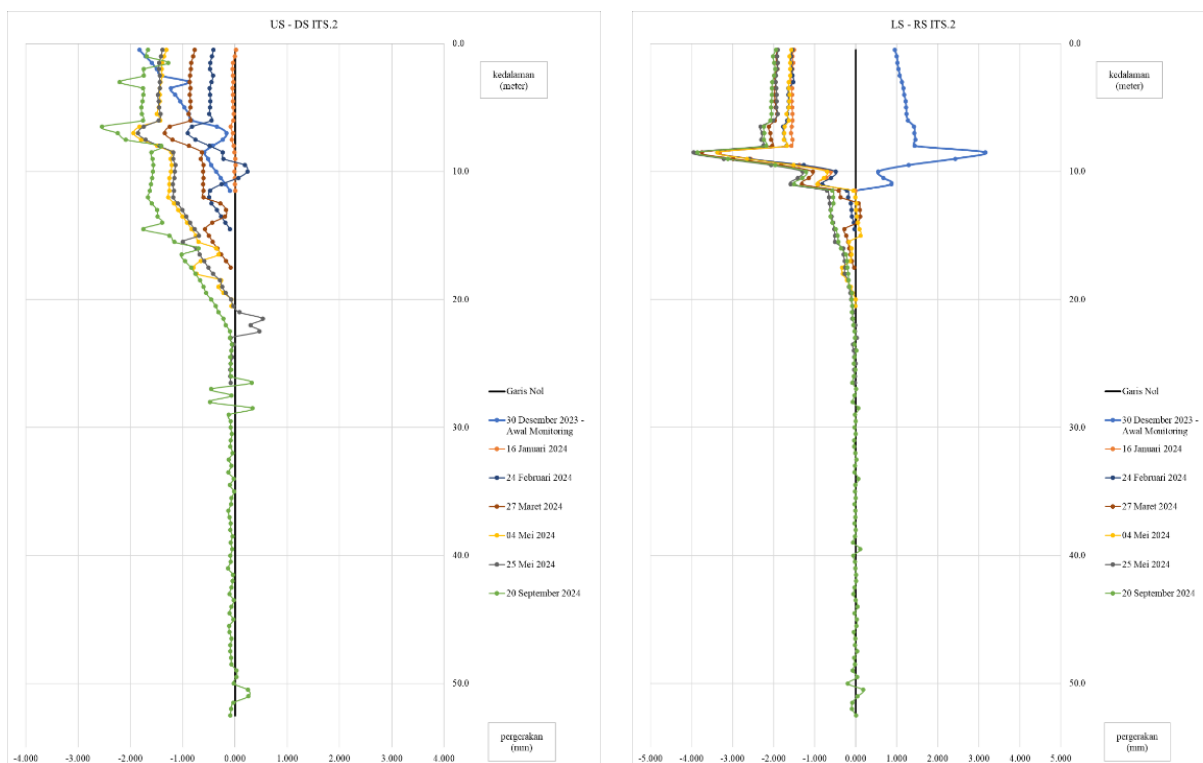
Monitoring pada perangkat *inclinometer system 1 (ITS.1)* selama tahun 2024 dilakukan sebanyak empat kali, yaitu pada tanggal 04 Mei 2024, 16 Mei 2024, 05 Juni 2024 dan 23 September 2024 dengan hasil *monitoring* pertama sebagai acuan yaitu pada tanggal 30 Desember 2023. Pergerakan sudah mulai terjadi seiring dengan berjalannya konstruksi, pergerakan yang terekam pada perangkat ini cenderung stabil dengan pola pergerakan

yang bertambah dengan bertahap dan konsisten ke arah hulu/*upstream* dan sandaran kiri/*left side*. Pergerakan terbesar terjadi pada tanggal 23 September 2024 di kedalaman 6.5 meter sebesar 3.915 milimeter ke arah hulu/*upstream*, dan kurva pada grafik pergerakan menunjukkan pergerakan cenderung mengarah ke hulu. Adapun pergerakan arah sandaran kiri – sandaran kanan dengan nilai terbesar terjadi pada Tanggal yang 23 September 2024 di kedalaman 7.0 meter sebesar 2.522 milimeter ke arah sandaran kiri/*left side*.



Gambar 4. Pergerakan Lateral yang terjadi pada Tubuh Bendungan B.11 Area Hilir terlihat dari Hasil *Monitoring Inclinometer System 1 (ITS.1)*

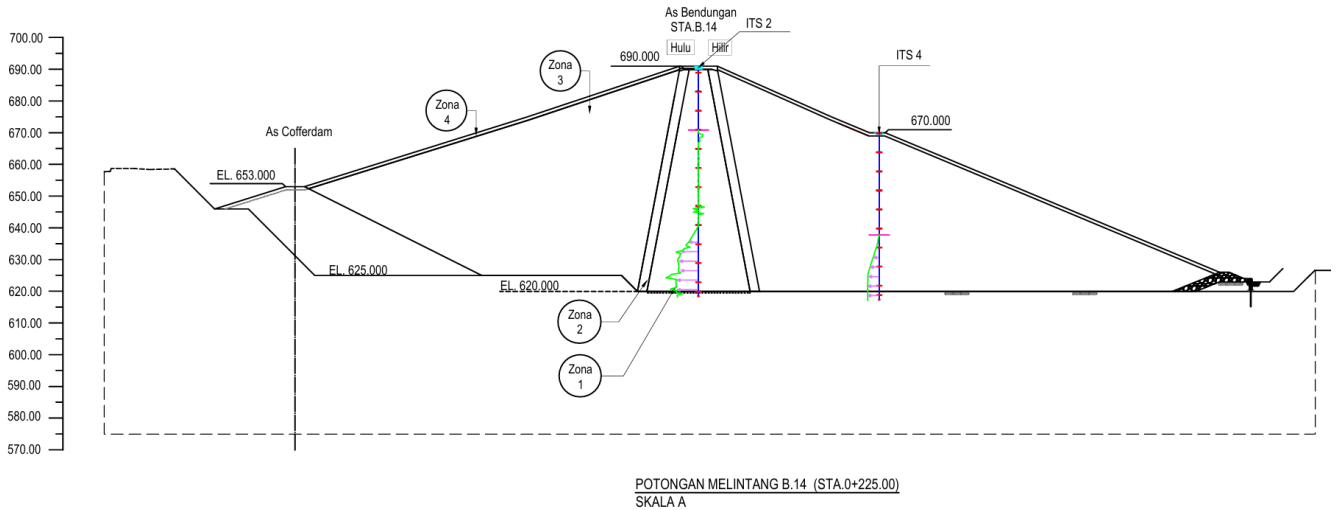
3.2 Analisa Hasil *Monitoring Perangkat Inclinometer System 2 (ITS.2)*



Gambar 5. Grafik Pergerakan *Horizontal As* Tubuh Bendungan B.14 Alur A - B dan Alur C - D pada *Inclinometer System 2 (ITS.2)*

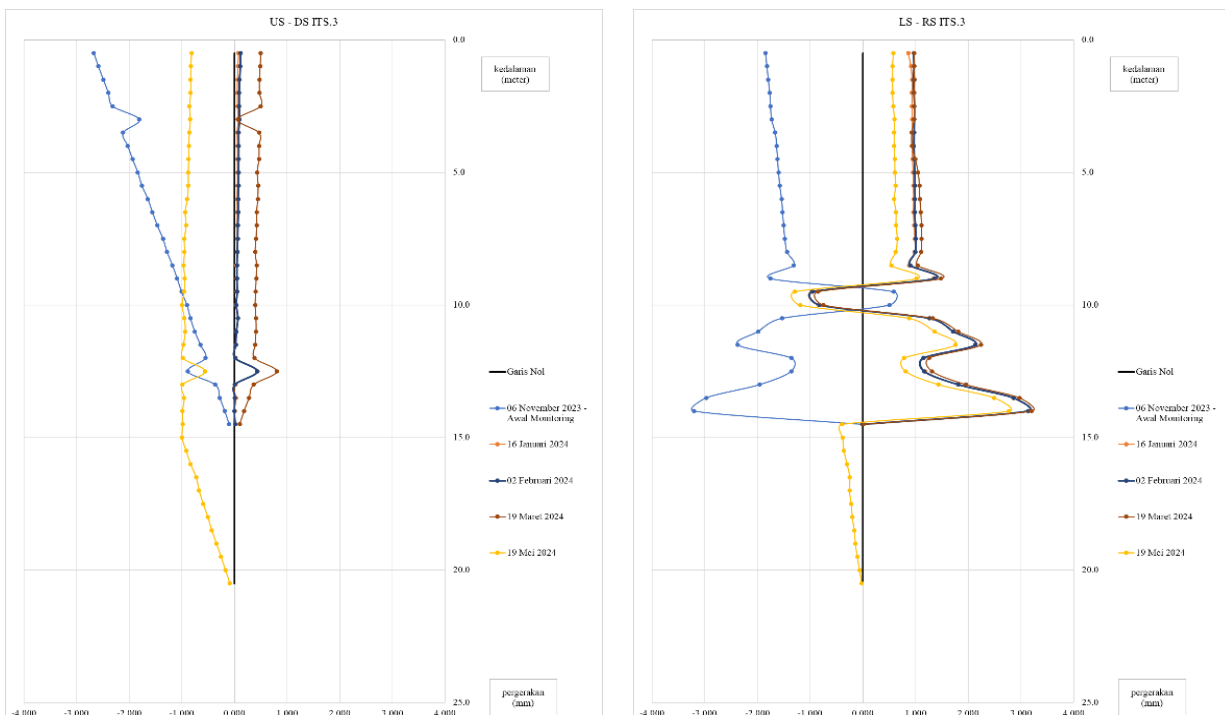
Monitoring pada perangkat *inclinometer system 2 (ITS.2)* selama tahun 2024 dilakukan sebanyak empat kali, yaitu pada tanggal 16 Januari 2024, 24 Februari 2024, 27 Maret 2024, 04 Mei 2024, 25 Mei 2024 dan 20

September 2024 dengan hasil *monitoring* pertama sebagai acuan yaitu pada tanggal 30 Desember 2023. Pola pergerakan cenderung serupa dengan *inclinometer system 1*, dengan pergerakan terbesar terjadi pada tanggal 20 September 2024 di kedalaman 6.5 meter sebesar 2.543 milimeter kearah hulu/*upstream*, dan kurva pada grafik pergerakan menunjukkan pergerakan cenderung mengarah ke hulu. Adapun pergerakan arah sandaran kiri – sandaran kanan dengan nilai terbesar terjadi pada Tanggal yang 25 Mei 2024 di kedalaman 8.5 meter sebesar 3.952 milimeter ke arah sandaran kiri/*left side*.



Gambar 6. Pergerakan Lateral yang terjadi pada Tubuh Bendungan B.14 terlihat dari Hasil *Monitoring Inclinometer System 2 (ITS.2) dan Inclinometer System 4 (ITS.4)*

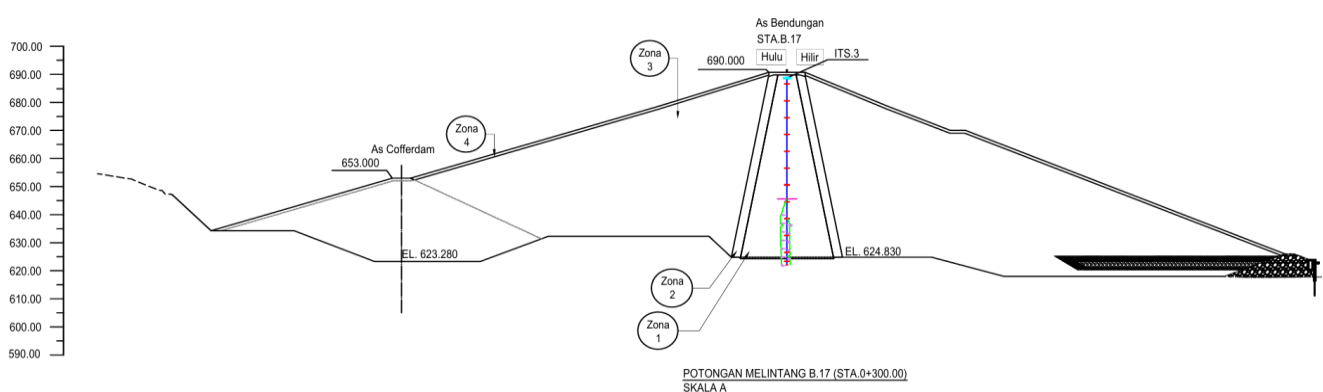
3.3 Analisa Hasil *Monitoring Perangkat Inclinometer System 3 (ITS.3)*



Gambar 7. Grafik Pergerakan *Horizontal As Tubuh Bendungan B.17 Alur A - B dan Alur C - D pada Inclinometer System 3 (ITS.3)*

Monitoring pada perangkat *inclinometer system* 3 (ITS.3) selama tahun 2024 dilakukan sebanyak empat kali, yaitu pada tanggal 16 Januari 2024, 02 Februari 2024, 19 Maret 2024 dan 19 Mei 2024 dengan hasil *monitoring* pertama sebagai acuan yaitu pada tanggal 06 November 2023. Pergerakan yang terekam pada perangkat ini cenderung stabil dengan pola pergerakan yang bertambah dengan bertahap dan konsisten. Namun pergerakan tersebut terpantau berkebalikan dengan pergerakan yang terjadi pada ketiga perangkat *inclinometer system* lainnya. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor yang harus dikaji lebih lanjut.

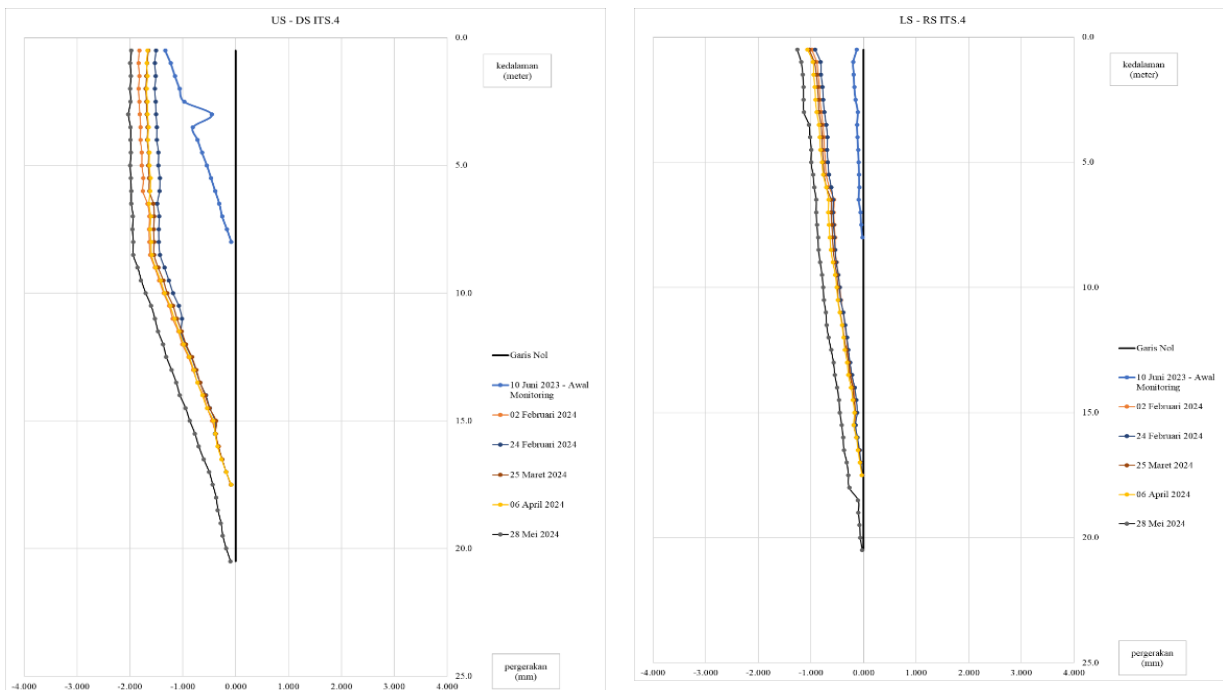
Adapun pergerakan terbesar terjadi pada tanggal 06 November 2024 di kedalaman 0.5 meter sebesar 2.674 milimeter ke arah hulu/*upstream*, dan kurva pada grafik pergerakan menunjukkan pergerakan cenderung mengarah ke hulu. Adapun pergerakan arah sandaran kiri – sandaran kanan dengan nilai terbesar terjadi pada Tanggal yang 06 November 2023 dan 19 Maret 2024 di kedalaman 14.0 meter sebesar 3.200 milimeter ke arah sandaran kiri/*left side*.



Gambar 8. Pergerakan Lateral yang terjadi pada Tubuh Bendungan B.17 terlihat dari Hasil *Monitoring Inclinometer System* 3 (ITS.3)

3.4 Analisa Hasil *Monitoring* Perangkat *Inclinometer System* 4 (ITS.4)

Monitoring pada perangkat *inclinometer system* 4 (ITS.4) selama tahun 2024 dilakukan sebanyak empat kali, yaitu pada tanggal 02 Februari 2024, 24 Februari 2024, 25 Maret 2024, 06 April 2024 dan 28 Mei 2024 dengan hasil *monitoring* pertama sebagai acuan yaitu pada tanggal 10 Juni 2023. Pola pergerakan cenderung serupa dengan *inclinometer system* 1 dan *inclinometer system* 2, yaitu mengarah ke hulu/*upstream* dan sandaran kiri/*left side*, dengan pergerakan terbesar terjadi pada tanggal 28 Mei 2024 di kedalaman 3.0 meter sebesar 2.033 milimeter ke arah hulu/*upstream*, dan kurva pada grafik pergerakan menunjukkan pergerakan cenderung mengarah ke hulu. Adapun pergerakan arah sandaran kiri – sandaran kanan dengan nilai terbesar terjadi pada Tanggal yang 28 Mei 2024 di kedalaman 0.5 meter sebesar 1.258 milimeter ke arah sandaran kiri/*left side*.



Gambar 9. Grafik Pergerakan *Horizontal* Tubuh Bendungan B.14 Hilir Alur A - B dan Alur C - D pada *Inclinometer System 4* (ITS.4)

4 KESIMPULAN

Data yang diperoleh dari inclinometer system di Proyek Pembangunan Bendungan Jlantah memberikan bukti empiris yang kuat tentang perilaku deformasi horizontal bendungan urugan tanah selama tahap konstruksi, yang mana data ini sangat penting untuk validasi model-model geoteknik. Pola pergerakan yang terdeteksi menunjukkan bahwa deformasi yang terjadi adalah respons alami dari material tanah terhadap pembebanan yang progresif, di mana setiap penambahan lapisan material urugan di atasnya akan menyebabkan konsolidasi dan pergeseran lateral pada lapisan-lapisan di bawahnya. Fenomena ini sejalan dengan teori mekanika tanah, yang menyatakan bahwa setiap beban vertikal akan menghasilkan regangan dan pergeseran dalam arah horizontal, terutama pada material kohesif yang belum sepenuhnya terkonsolidasi.

Adapun nilai pergerakan *horizontal* terbesar yang terjadi pada tubuh bendungan Proyek Pembangunan Bendungan Jlantah dialami oleh perangkat *inclinometer system 2* (ITS.2) pada tanggal 25 Mei 2024 dengan nilai pergerakan mencapai 3.952 milimeter ke arah sandaran kiri di kedalaman 8.5 meter, sedangkan untuk nilai pergerakan *horizontal* terkecil terjadi pada perangkat *inclinometer system 1* (ITS.1) pada tanggal 23 September 2024 dengan nilai pergerakan sebesar 0.000 milimeter di kedalaman 43.5 meter.

Penting untuk dicatat bahwa pergerakan yang terjadi pada Proyek Pembangunan Bendungan Jlantah bukan hanya karena beban konstruksi, tetapi juga karena konsolidasi jangka panjang dari tanah dasar dan material urugan. Proses konsolidasi ini akan terus berlanjut selama bertahun-tahun setelah bendungan selesai dibangun dan dioperasikan. Oleh karena itu, pergerakan *horizontal* yang terekam selama periode penelitian ini hanyalah fase awal dari perilaku deformasi keseluruhan bendungan, dan pemantauan jangka panjang sangatlah diperlukan untuk memahami stabilitas bendungan seutuhnya.

Keandalan dari instrumentasi *inclinometer system* sebagai alat pemantau pergerakan *horizontal* telah terbukti dalam penelitian ini. Data yang dihasilkan tidak hanya kuantitatif dan akurat, tetapi juga memberikan profil pergerakan yang mudah diinterpretasikan, yang mana ini sangat berguna untuk pengambilan keputusan di lapangan. Dengan adanya instrumentasi ini, tim proyek dapat secara proaktif mengelola risiko geoteknik dan memastikan bahwa setiap anomali pergerakan dapat dideteksi sejak dini, memberikan lapisan keamanan tambahan untuk bendungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sutardjo, T.P., Awandian, R.L.S.P. (2025). Analisis Nilai Keamanan Tubuh Bendungan Jlantah Karanganyar, *Jurnal Humaniora Dan Sosial Sains*, 2(1), 106-112. <https://humaniorasains.id/jhss/article/view/78>.
- [2] Saptiono, Saptiono. (2024). Studi Pola Pergerakan Tanah Lereng Jalan Tol Cipularang KM 96+200 A/B Menggunakan Instrumen *Inclinometer*. Skripsi. Universitas Sangga Buana YPKP.
- [3] Kementerian Pekerjaan Umum. (2024). Bimbingan Teknis Evaluasi Instrumen Persiapan Pengisian Awal. Balai Teknik Bendungan.
- [4] Frinandy, Alvin., & Ismadi, Vitus D.Y.B. (2023). Analisa Hasil *Monitoring* Instrumentasi Geoteknik Sebagai Keamanan Tubuh Bendungan Sadawarna. *Jurnal Profesi Insinyur Indonesia*, 1, 333 - 338.
- [5] Kementerian Pekerjaan Umum. (2017). Modul 15 Instrumentasi Bendungan Urugan Pelatihan Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar. Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi.
- [6] [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 3404:2008. Tata cara pemasangan inklinometer dan pemantauan pergerakan horisontal tanah. Badan Standardisasi Nasional : Jakarta.