



## IDENTIFIKASI PERILAKU DEFORMASI VERTIKAL BERDASARKAN HASIL PEMANTAUAN *MULTILAYER SETTLEMENT* SAAT PELAKSANAAN TIMBUNAN BENDUNGAN AMERORO

Alfian Arbie Simbolon<sup>1\*</sup>, Sri Prabandiyani Retno Wardani<sup>2</sup>, Suharyanto<sup>3</sup>

<sup>1\*,2,3</sup> Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jalan Prof. Soedarto S.H. Tembalang, Semarang, Indonesia

Telp (024) 76922650

Alamat E-mail: [alfianarbiesimbolon@gmail.com](mailto:alfianarbiesimbolon@gmail.com)

### Info Artikel

#### Sejarah Artikel:

Diterima: Mei 2024  
Disetujui: Mei 2024  
Dipublikasikan: Juni 2024

#### Keywords:

Dam; Ameroro;  
deformation; settlement;  
embankment

### Abstrak

Bendungan Ameroro berlokasi di Sulawesi Tenggara dibangun oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yang hingga saat masih dalam proses penimbunan. Deformasi bendungan sebenarnya sudah mulai terjadi sejak proses konstruksi bendungan dan kemudian berlanjut pada masa operasional bendungan setelah konstruksi selesai. Oleh karena itu, pengamatan dan analisis deformasi tubuh bendungan sangat penting dilakukan sejak masa konstruksi untuk menghindari terjadinya kegagalan bendungan di kemudian hari. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi perilaku deformasi internal vertikal Bendungan Ameroro berdasarkan data hasil monitoring *Multilayer Settlement*. Identifikasi dimaksudkan untuk menilai perilaku normal atau abnormal zona inti timbunan bendungan dengan data pembacaan instrumen *Multilayer Settlement* yang dipasang pada Bendungan Ameroro untuk mengetahui perilaku deformasinya berdasarkan rujukan empiris. Grafik pembacaan hasil monitoring *Multilayer Settlement* menunjukkan bahwa pada plat magnet paling bawah IMS 1-8 sudah mengalami penurunan yang stagnan pada elevasi timbunan +88,50 m sehingga diprediksi pada kenaikan timbunan berikutnya deformasinya akan stabil. Batas normal yang dirujuk adalah ketika ketinggian timbunan kurang dari 50 m total penurunan umumnya berada pada urutan kurang dari 1% sampai dengan 2,5%. Dari hasil analisis, nilai *settlement* pada inti Bendungan Ameroro yang terjadi masih dalam ambang batas normal.

**Kata Kunci:** Bendungan; Ameroro; deformasi; *settlement*; timbunan

### Abstract

The Ameroro Dam, located in Southeast Sulawesi, was built by the Ministry of Public Works and Public Housing and is currently still in the process of filling. Dam deformation actually started to occur during the dam construction process and then continued during the dam's operational period after construction was completed. Therefore, it is very important to observe and analyze the deformation of the dam body since the construction period to avoid dam failure in the future. This research aims to identify the vertical internal deformation behavior of the Ameroro Dam based on data from *Multilayer Settlement* monitoring results. The identification is intended to assess the normal or abnormal behavior of the core zone of the dam embankment using reading data from the *Multilayer Settlement* instrument installed at the Ameroro Dam to determine its deformation behavior based on empirical

---

*references. The reading graph of the Multilayer Settlement monitoring results shows that the bottom magnetic plate of IMS 1-8 has experienced a stagnant decline at the embankment elevation of +88.50 m so that it is predicted that at the next embankment increase the deformation will be stable. The normal limit referred to is when the height of the embankment is less than 50 m, the total settlement is generally in the order of less than 1% to 2.5%. From the results of the analysis, the settlement value at the core of the Ameroro Dam that occurred was still within normal limits.*

---

© 2024

Universitas Abdurrah

---

✉ Alamat korespondensi:

Jalan Prof. Sudarto, S.H., Tembalang, Kota

Semarang, 50275 (024) 76922650

E-mail: alfianarbiesimbolon@gmail.com

ISSN 2527-7073

---

## PENDAHULUAN

Bendungan merupakan salah satu infrastruktur sumber daya air strategis karena memiliki multi manfaat sebagai sumber air bagi penyediaan air baku dan irigasi, pengendali banjir, keperluan pembangkit listrik tenaga air, perikanan dan pariwisata [1]. Disamping beragam manfaat yang bisa diperoleh, membangun bendungan juga berarti menciptakan potensi bencana besar di hilir bendungan jika terjadi kegagalan bendungan sehingga pembangunan sebuah bendungan harus dipastikan betul-betul aman mulai dari tahap desain, tahap pelaksanaan konstruksi sampai pada tahap operasi dan pemeliharaan bendungan.

Mengingat bahwa rencana teknis bendungan umumnya didasarkan pada hasil-hasil pengujian di laboratorium atau dari pendekatan rumus-rumus empiris serta dari pertimbangan individu perencana, maka biasanya akan ada perubahan-perubahan dan penyesuaian dengan pengujian penimbunan yang dilaksanakan. Perubahan bentuk, posisi, dan dimensi suatu benda atau kedudukan disebut deformasi [2]. Deformasi dan penurunan pada bendungan dapat diketahui dari instrumen yang dipasang pada tubuh bendungan yaitu *Multilayer Settlement*, *Inclinometer*, *Vibrating Wire Liquid Settlement Cell*, dan Patok Geser. Menurut [3] deformasi bendungan sudah mulai terjadi sejak proses konstruksi bendungan dan kemudian berlanjut pada masa operasional bendungan setelah konstruksi selesai. Oleh karena itu, pengamatan dan analisis deformasi tubuh bendungan sangat penting dilakukan sejak masa konstruksi untuk menghindari terjadinya kegagalan bendungan di kemudian hari.

## TINJAUAN PUSTAKA

Bendungan merupakan bangunan air yang dibangun secara melintang sungai yang bertujuan untuk menaikkan permukaan air sungai di sekitarnya sampai ketinggian tertentu, sehingga air sungai tadi dapat dialirkan melalui pintu sadap ke saluran-saluran pembagi kemudian hingga ke

lahan-lahan pertanian [4]. Bendungan dengan tinggi lebih dari 15 meter dari pondasi terbawah hingga puncak bendungan atau bendungan yang memiliki tinggi antara 5 sampai 15 meter dengan tampungan melebihi 3 juta m<sup>3</sup>, dikategorikan sebagai bendungan besar [5]. Bendungan dibagi menjadi 3 jenis yaitu bendungan beton, bendungan urugan serta bendungan lainnya [6]. Berdasarkan letak zona kedap airnya, menurut [7], bendungan urugan zonal dibedakan menjadi tiga yaitu bendungan urugan zonal dengan tirai, bendungan urugan zonal dengan inti miring, bendungan urugan zonal dengan inti vertikal. Lazimnya inti tersebut terletak di tengah tubuh bendungan.

Identifikasi perilaku deformasi vertikal inti timbunan yang berpotensi “abnormal” dinilai dari penurunan total inti yang terjadi pada saat timbunan masih berjalan. Laju dari deformasi ini terjadi tergantung pada tingkat disipasi tekanan air pori berlebih (*excess pore water pressure*) dan laju terbentuknya kondisi aliran langgeng (*steady seepage*) itu terjadi [8]. Deformasi vertikal total dikalkulasi dari penurunan kumulatif antara instrumen dari 42 studi kasus bendungan yang telah diteliti oleh [9]. Korelasi antara *settlement* dan persentase dari tinggi bendungan dalam bentuk fungsi *quadratic* dinyatakan pada Tabel 1 dan korelasi antara *Settlement* dan persentase tinggi timbunan dalam bentuk *power function* dinyatakan dalam Tabel 2. Korelasi antara *settlement* dan persentase dari tinggi timbunan inti lempung (*clay*) dinyatakan pada Persamaan 1, sedangkan korelasi antara *settlement* dan persentase tinggi timbunan dinyatakan dalam Persamaan 2.

$$Settlement (mm) = H(0,152H + 12,6) \tag{1}$$

$$Settlement (\%) = 0,179H^{0,60} \tag{2}$$

Dimana H adalah ketinggian bendungan (m).

Tabel 1. Persamaan Untuk Penurunan Inti versus Ketinggian Urugan Selama Konstruksi (Hunter and Fell, 2003)

Core Material/ Shape Type	No. Cases	Equation for Settlement* <sup>1</sup>	R <sup>2</sup> * <sup>2</sup>	Standard Error of Settlement (mm)
Clay cores - all sizes	42	<i>Settlement</i> = H (0,125H + 12,60)	0,96	275
Sandy and gravely cores: medium to thick, plastic	25	<i>Settlement</i> = H (0,125H + 12,60)	0,97	290
thin	5	<i>Settlement</i> = H (0,125H + 12,60)	0,94	635
non-plastic	7	<i>Settlement</i> = H (0,125H + 12,60)	0,98	130
Note: * <sup>1</sup> settlement in milimetres, embankment height H in metres. * <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = regresssion coefficient				

Tabel 2. Persamaan Untuk Penurunan Inti (% Tinggi Urugan) versus Ketinggian Urugan Selama Konstruksi (Hunter and Fell, 2003)

Core Material/ Shape Type	No. Cases	Equation for Core Settlement* <sup>1</sup> (as a percentage of embankment height)	R <sup>2</sup> * <sup>2</sup>	Standard Error of Settlement (%)
Clay cores - all sizes	42	$Settlement (\%) = 0,179 H^{0,60}$	0,77	0,41
Sandy and gravelly cores: medium to thick, plastic thin non-plastic	25	$Settlement (\%) = 0,079 H^{0,76}$	0,81	0,39
	5	$Settlement (\%) = 0,063 H^{0,72}$	0,70	0,47
	7	$Settlement (\%) = 0,187 H^{0,46}$	0,71	0,24
Note: * <sup>1</sup> settlement as a percentage of embankment height, embankment height H in metres. * <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = regresssion coefficient				

## METODE

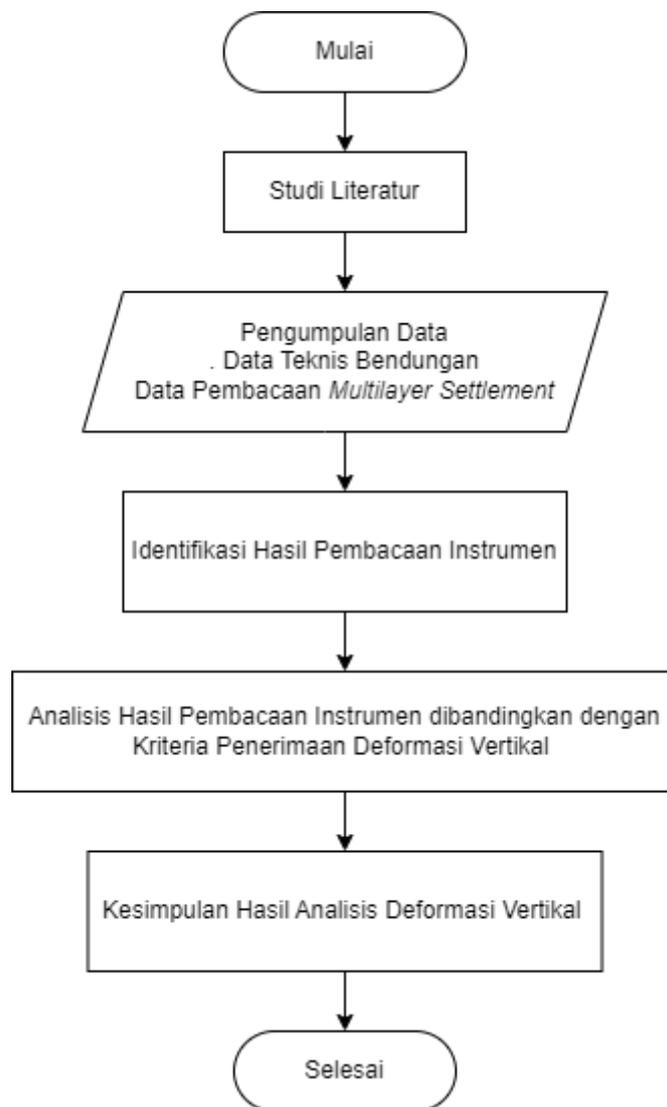
Data yang digunakan dalam studi ini adalah data sekunder berupa data pembacaan *Multilayer Settlement*, data teknis bendungan, dan data kenaikan timbunan yang didapatkan dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi IV Kendari. Selain itu, digunakan juga literature dan studi sebelumnya sebagai acuan maupun pendekatan untuk menganalisis masalah di dalam studi ini.

Analisis yang digunakan dalam studi ini adalah analisis metode empiris dimana penilaian perilaku deformasi “normal” dikembangkan untuk mengidentifikasi perilaku yang berpotensi “abnormal”. Pada analisis deformasi dengan metode ini dilakukan penilaian deformasi vertikal dengan data pembacaan instrumen *Multilayer Settlement* yang dipasang pada Bendungan Ameroro untuk mengetahui perilaku deformasinya berdasarkan rujukan referensi empiris. Analisis perilaku deformasi selama konstruksi Bendungan Ameroro terkonsentrasi pada zona inti timbunan tanah karena di sinilah letak instrumen. Deformasi vertikal internal di analisis dari data pengamatan *Multilayer Settlement* yang dipasang saat konstruksi berlangsung. Analisis deformasi pada zona inti bendungan urugan dilakukan selama konstruksi timbunan masih berjalan.

Identifikasi perilaku deformasi vertikal inti timbunan yang berpotensi “abnormal” dinilai dari penurunan total inti yang terjadi pada saat timbunan masih berjalan. Deformasi vertikal total dikalkulasi dari penurunan kumulatif antara instrumen dari 42 studi kasus bendungan yang telah diteliti oleh [9]. Korelasi antara *settlement* dan persentasi dari tinggi bendungan dalam bentuk fungsi *quadratic* dinyatakan pada Tabel 1 dan korelasi antara *settlement* dan persentase tinggi timbunan dalam bentuk *power function* dinyatakan dalam Tabel 2. Korelasi antara *settlement* dan persentasi dari tinggi timbunan inti lempung(*clay*) dinyatakan pada Persamaan 1, sedangkan korelasi antara *settlement* dan persentase tinggi timbunan dinyatakan dalam Persamaan 2.

Kesimpulan diambil setelah identifikasi dilakukan, dalam bab ini akan menyimpulkan apakah perilaku deformasi bendungan berdasarkan data monitoring instrumentasi bendungan

‘normal’ atau ‘abnormal’. Namun, identifikasi yang dilakukan hanyalah berdasarkan tren deformasi beberapa bendungan yang masuk ke dalam studi kasus buku ‘*Dam Deformation*’ Hunter dan Fell. Dalam artian ‘abnormal’ disini adalah perilaku yang berada di luar tren tersebut. Maka, ketika deformasi dianggap ‘normal’ maka sudah berada di dalam tren dari beberapa kasus bendungan lainnya. Namun, apabila ‘abnormal’ maka perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai perilaku deformasi menggunakan metode elemen hingga. Saran diberikan setelah kesimpulan diambil, saran diberikan dalam mengembangkan studi ini lebih lanjut maupun perbaikan yang bisa dilakukan setelah hasil dan kesimpulan studi ini. Untuk lebih jelas mengenai tahapan studi dapat dilihat pada bagan alir seperti ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Tahapan Studi

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi perilaku deformasi vertikal inti dinilai berdasarkan pada data pemantauan alat *Multilayer Settlement* [10]. Pada saat studi ini ditulis, pelaksanaan pekerjaan timbunan tubuh bendungan masih berlangsung dan instrumen *Multilayer Settlement* belum terpasang semua sehingga data yang digunakan adalah data yang didapat sampai tanggal 29 Agustus 2023 pada STA 0 + 108 yang ditunjukkan pada Gambar 2. Penamaan *Multilayer Settlement* dari bawah ke atas adalah IMS 1-8, IMS 1-7, IMS 1-6, IMS 1-5.

### 1. *Multilayer Settlement* pada titik IMS 1-8

Plat Magnet IMS 1-8 dipasang tanggal 19 Maret 2023 pada elevasi + 48,50 m . Pada elevasi timbunan +88,50 m, hasil bacaan *Multilayer Settlement* menunjukkan nilai deformasi sebesar 16,30 cm.

### 2. *Multilayer Settlement* pada titik IMS 1-7

Plat Magnet IMS 1-7 dipasang tanggal 17 Mei 2023 pada elevasi + 58,50 m . Pada elevasi timbunan +88,50 m, hasil bacaan *Multilayer Settlement* menunjukkan nilai deformasi sebesar 40 cm.

### 3. *Multilayer Settlement* pada titik IMS 1-6

Plat Magnet IMS 1-6 dipasang tanggal 21 Juni 2023 pada elevasi + 67,40 m . Pada elevasi timbunan +88,50 m, hasil bacaan *Multilayer Settlement* menunjukkan nilai deformasi sebesar 59,10 cm.

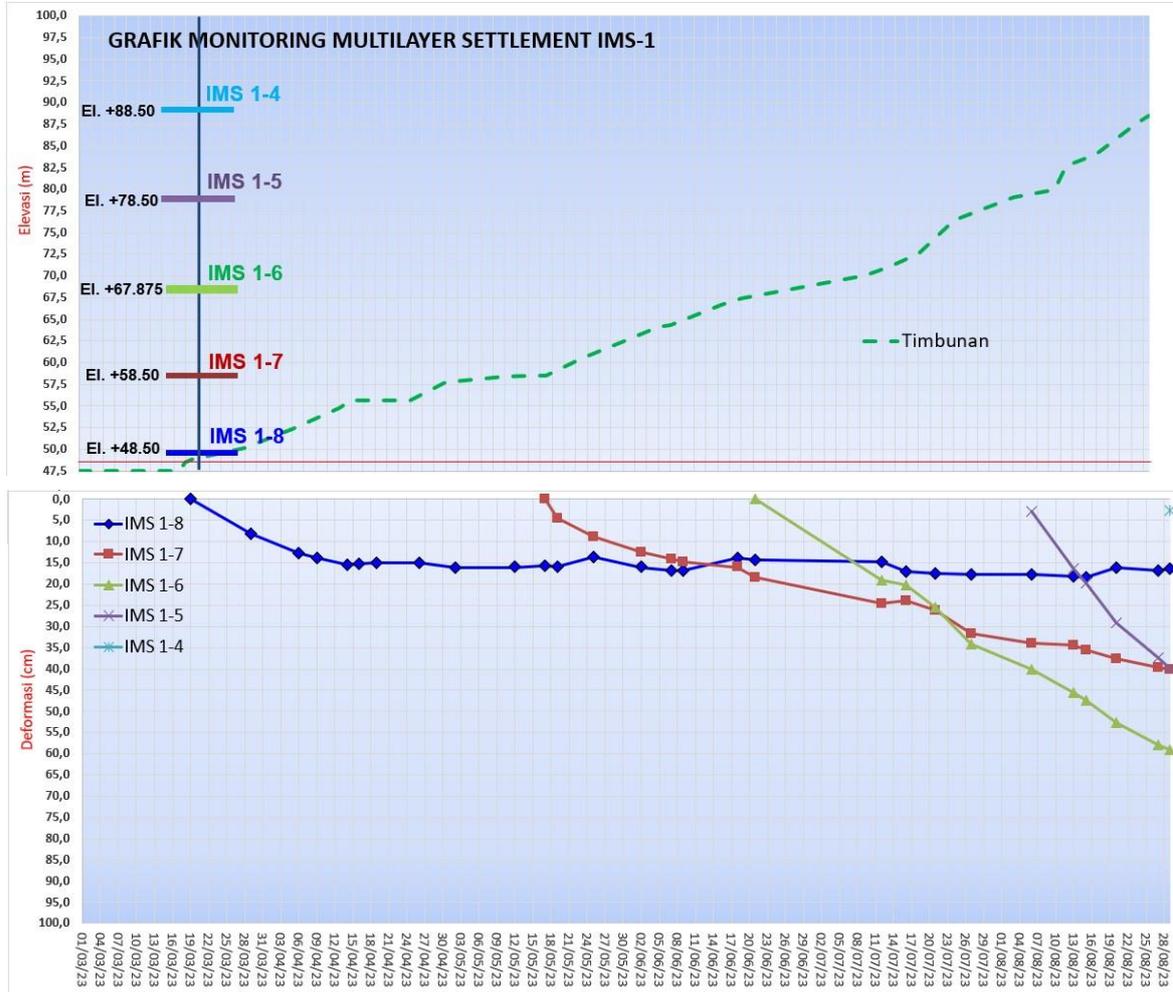
### 4. *Multilayer Settlement* pada titik IMS 1-5

Plat Magnet IMS 1-5 dipasang tanggal 27 Juli 2023 pada elevasi + 76,40 m . Pada elevasi timbunan +88,50 m, hasil bacaan *Multilayer Settlement* menunjukkan nilai deformasi sebesar 39,80 cm. Kondisi dan hasil pembacaan alat *Multilayer Settlement* guna keperluan analisis dapat dilihat pada Tabel 3.

## Deformasi Vertikal Inti Saat Pelaksanaan Timbunan

Identifikasi perilaku deformasi vertikal inti timbunan yang berpotensi “abnormal” dinilai dari penurunan total inti yang terjadi pada saat timbunan masih berjalan. Analisis berdasarkan tinjauan waktu saat periode konstruksi timbunan masih berlangsung dengan elevasi timbunan +88,50 m dari elevasi pondasi +47 m. Data pembacaan dilakukan analisis penurunan vertikal dari inti selama periode konstruksi versus ketinggian urugan untuk mendapatkan nilai yang akan dibandingkan dengan nilai batas penurunan. Didapatkan nilai batasan penurunan yang dihasilkan adalah 516,6 mm dan 1,66% terhadap tinggi timbunan. Hasil dari analisis dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5 dievaluasi dengan nilai batasan penurunan yang dihasilkan dari korelasi antara *settlement* dan persentasi dari tinggi bendungan dalam bentuk fungsi *quadratic* dinyatakan pada

Tabel 1 dan korelasi antara *settlement* dan persentase tinggi timbunan dalam bentuk *power function* dinyatakan dalam Tabel 2 sehingga menghasilkan batasan perilaku deformasi “normal” saat konstruksi timbunan masih berlangsung.



Gambar 2. Grafik Monitoring *Multilayer Settlement* IMS-I Bendungan Ameroro

Tabel 3 Elevasi Alat *Multilayer Settlement* (Awal Pemasangan-Peninjauan)  
(Hasil analisis)

<i>Multilayer Settlement</i> (IMS 1 STA 0+108)	Tanggal	Elevasi Alat (Awal Pemasangan)	Tanggal	Elevasi Alat (Tinjauan Data 29/08/2023)
IMS 1-5	27/07/2023	78,50	29/08/2023	78,102
IMS 1-6	21/06/2023	67,875	29/08/2023	67,28
IMS 1-7	17/05/2023	58,50	29/08/2023	58,10
IMS 1-8	19/03/2023	48,50	29/08/2023	48,34
DATUM	01/03/2023	47	29/08/2023	45,286

Tabel 4 Nilai *Settlement* Pada Bendungan Ameroro Saat Konstruksi Berlangsung (mm)  
(Hasil analisis)

<i>Multilayer Settlement</i>	STA. 0+108 (mm)	Kriteria Penerimaan
IMS 1-5	398	
IMS 1-6	<b>591</b>	
IMS 1-7	400	S < 516,6
IMS 1-8	163	

Tabel 5 Nilai *Settlement* Pada Bendungan Ameroro Saat Konstruksi Berlangsung (% tinggi timbunan) (Hasil Analisis)

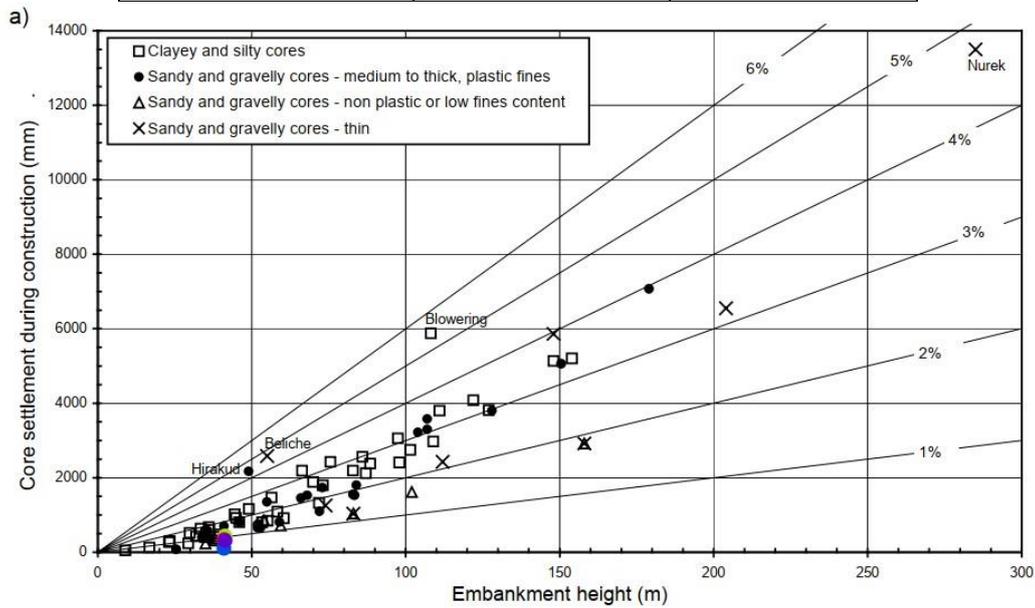
<i>Multilayer Settlement</i>	STA. 0+108 (mm)	Kriteria Penerimaan
IMS 1-5	0,79	
IMS 1-6	1,15	
IMS 1-7	1,37	
IMS 1-8	1,63	S < 1,66 %

Dapat dijelaskan deformasi selama masa periode konstruksi timbunan bendungan (Tabel 4 dan Tabel 5) sebagian besar instrumentasi *Multilayer Settlement* menunjukkan perilaku yang normal. Terdapat 1 (satu) alat yang nilainya yang melebihi batas normal kriteria penerimaan penurunan yang dihasilkan dari Persamaan 1 (516,6 mm) dan Persamaan 2 (1,66% terhadap tinggi timbunan). Instrumentasi *Multilayer Settlement* IMS 1-6 pada STA 0+108 dengan nilai *settlement* sebesar 591 mm dianggap berperilaku tidak normal dengan deviasi sebesar 14,40 %, akan tetapi jika dibandingkan terhadap persentasi tinggi timbunan didapat 1,15 % yang berdasarkan kriteria penerimaan masih berada dalam ambang batas normal.

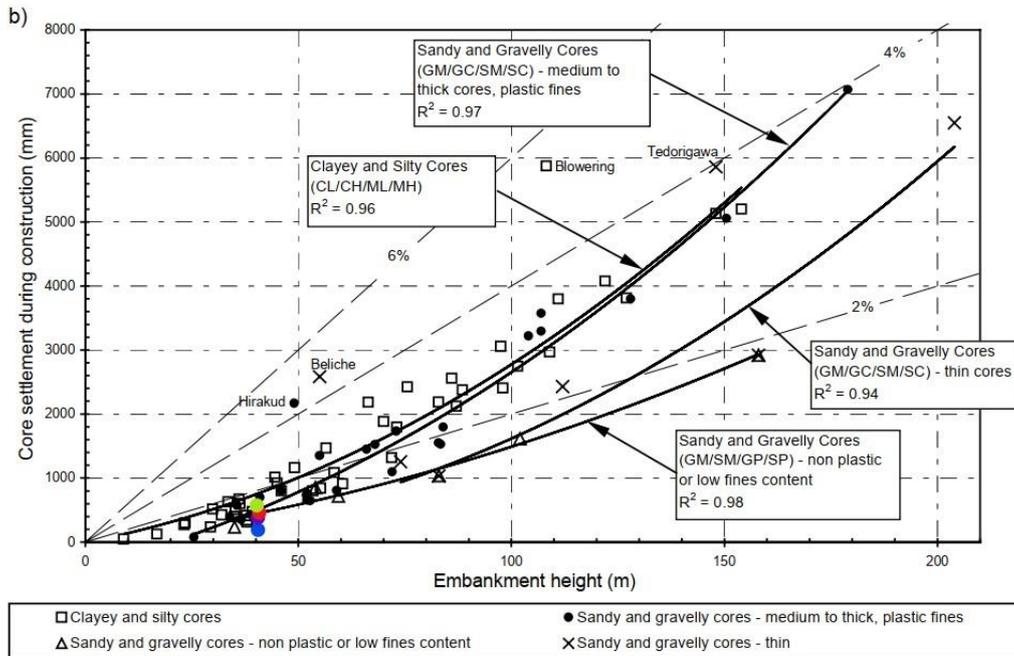
Selanjutnya, nilai *settlement* tersebut plotkan pada grafik sesuai dengan Gambar 2.3 yang menggambarkan penurunan total inti clay versus ketinggian tanggul selama periode konstruksi. Ketinggian timbunan adalah 41 m dari pondasi. Batas normal yang dirujuk adalah ketika ketinggian timbunan kurang dari 50 m total penurunan umumnya berada pada urutan kurang dari 1% sampai dengan 2,5%. Dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4, nilai *settlement* pada inti Bendungan Ameroro yang terjadi masih dalam ambang batas **normal**.

Tabel 6 Settlement Yang Terjadi Saat Penimbunan Mencapai Elevasi +88,50 (Hasil Analisis)

Multilayer Settlement	Ketinggian Timbunan	Penurunan Inti
IMS 1-5	41	398
IMS 1-6	41	591
IMS 1-7	41	400
IMS 1-8	41	163



Gambar 3 Plot Hasil Analisis Penurunan Inti Bendungan Ameeroro Selama Konstruksi Urugan Timbunan (a) Termasuk Bendungan Nurek



Gambar 4 Plot Hasil Analisis Penurunan Inti Bendungan Ameroro Selama Konstruksi Urugan Timbunan (b) Tidak Termasuk Bendungan Nurek (Hasil Analisis)

Dari pembahasan deformasi vertikal internal dari data instrumen *Multilayer Settlement* Bendungan Ameroro pada kondisi saat pelaksanaan konstruksi timbunan (*during construction*) dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan hasil pemantauan instrument *Multilayer Settlement* dengan rentang waktu Maret 2023 – Agustus 2023 pada titik IMS-1 pada STA 0+108 terjadi penurunan yang beragam pada plat magnet yang terpasang yakni IMS 1-8, IMS 1-7, IMS 1-6, IMS 1-5
2. Pelaksanaan pekerjaan timbunan tubuh bendungan masih berlangsung pada saat magang berakhir, sehingga data pemantauan yang digunakan dibatasi hingga sampai 29 agustus 2023.
3. Penurunan terbesar pada titik IMS -1 berada pada Plat Magnet IMS 1-6 (plat ketiga dari bawah) yakni sebesar 591 mm yaitu pada elevasi timbunan 88,50 m. Angka penurunan ini berada di atas kriteria penerimaan, akan tetapi jika dibandingkan terhadap persentasi tinggi timbunan didapat 1,15 % yang berdasarkan kriteria penerimaan masih berada dalam ambang batas normal.
4. Grafik pembacaan hasil monitoring *Multilayer Settlement* menunjukkan bahwa pada plat magnet paling bawah IMS 1-8 sudah mengalami penurunan yang stagnan pada elevasi timbunan +88,50 m sehingga diprediksi pada kenaikan timbunan berikutnya deformasinya akan stabil.

Batas normal yang dirujuk adalah ketika ketinggian timbunan kurang dari 50 m total penurunan umumnya berada pada urutan kurang dari 1% sampai dengan 2,5%. Dapat dilihat pada Gambar 3, nilai *settlement* pada inti Bendungan Ameroro yang terjadi masih dalam ambang batas normal

## **SIMPULAN**

Dari pembahasan deformasi vertikal internal dari data instrumen *Multilayer Settlement* Bendungan Ameroro pada kondisi saat pelaksanaan konstruksi timbunan (*during construction*) dapat disimpulkan bahwa perilaku deformasi internal vertikal berdasarkan pembacaan data monitoring instrumentasi pada Bendungan Ameroro dengan rentang waktu Maret 2023 – Agustus 2023 pada titik IMS-1 pada STA 0+108 terjadi penurunan yang beragam pada plat magnet yang terpasang yakni IMS 1-8, IMS 1-7, IMS 1-6, IMS 1-5. Grafik pembacaan hasil monitoring *Multilayer Settlement* menunjukkan bahwa pada plat magnet paling bawah IMS 1-8 sudah mengalami penurunan yang stagnan pada elevasi timbunan +88,50 m sehingga diprediksi pada kenaikan timbunan berikutnya deformasinya akan stabil.

Dari analisis pembacaan Instrumen *Multilayer Settlement* yang dibandingkan ke grafik penurunan dalam buku Hunter dan Fell didapat hasil penurunan terbesar pada titik IMS -1 berada pada Plat Magnet IMS 1-6 (plat ketiga dari bawah) yakni sebesar 591 mm yaitu pada elevasi timbunan 88,50 m. Angka penurunan ini berada di atas kriteria penerimaan, akan tetapi jika dibandingkan terhadap persentasi tinggi timbunan didapat 1,15 % yang berdasarkan kriteria

penerimaan masih berada dalam ambang batas **normal**. Batas normal yang dirujuk adalah ketika ketinggian timbunan kurang dari 50 m total penurunan umumnya berada pada urutan kurang dari 1% sampai dengan 2,5%. Dapat dilihat pada Gambar 4.7, nilai *Settlement* pada inti Bendungan Ameroro yang terjadi masih dalam ambang batas **normal**.

Perlu dipahami bahwa penurunan pada tubuh bendungan tidak berakhir pada saat konstruksi selesai dikarenakan penurunan pada zona inti dengan jenis tanah lunak akan membutuhkan waktu penurunan yang cukup lama. Oleh karena itu, pemilik bendungan sebagai pengelola diharapkan melakukan analisa penurunan lebih lanjut.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*. Indonesia, 2015.
- [2] T.-J. Wang and Z.-B. Kuang, "Stress, deformation and damage fields near the tip of a crack in a damaged nonlinear material," *Int. J. Fract.*, vol. 79, pp. 1–26, 1996.
- [3] A. Szostak-Chrzanowski and M. Massiera, "Modelling of Deformations During Construction of a Large Earth Dam in the La Grande Complex, Canada," *Tech. Sci. Warm. Maz. Olsztyn*, pp. 109–122, 2004.
- [4] A. G. Kartasapoetra, M. Sutedjo, and P. Mulyani, *Teknologi Pengairan Pertanian (Irigasi)*. Jakarta: Bumi Aksara, 1991.
- [5] ICOLD, "Statute," ICOLD/CIGB, 2011.
- [6] Soedibyso, "Teknik Bendungan," in *PT. Pradnya Paramita*, Jakarta: PT. Pradnya Paramita, 2003.
- [7] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 8062:2015 tentang Tata Cara Desain Tubuh Bendungan Urugan*. 2015.
- [8] USBR, *Design of small Dams. United States Department of Bureau of Reclamation (3 ed.)*. 1987.
- [9] G. Hunter and R. Fell, "The Deformation Behaviour of Embankment Dams," University of New South Wales, School of Civil and Environmental Engineering, 2003.
- [10] Balai Wilayah Sungai Sulawesi IV Kendari, *Sertifikasi Desain Bendungan Ameroro Kabupaten Konawe Sulawesi Tenggara*. Kendari, 2019.