

Perbandingan Metode Kalibrasi Sistem Celup Dan *Chamber* Untuk *Vibrating Wire Piezometer In Situ*

Mochamad Rovik^{1*}, Imam Wahyudi²⁾, Rinda Karlinasari³⁾

^{1, 2, 3)}Fakultas Teknik, Program Magister Teknik Sipil, Universitas Sultan Agung, Semarang, Jl. Kaligawe Raya No.Km.4, Terboyo Kulon, Kec. Genuk, Kota Semarang, Jawa Tengah 50112;
Email: *rovanimovic@gmail.com, mts@unissula.ac.id

Abstrak

Piezometer merupakan instrumen pemantauan geoteknik yang umumnya digunakan untuk mendapatkan nilai tekanan air pori atau ketinggian air tanah. Piezometer yang paling populer adalah jenis elektrik (*vibrating wire*). Cara kerja piezometer jenis ini adalah Tekanan air pori yang bekerja pada diafragma menyebabkannya perubahan tegangan dan resonansi pada kawat getar. Dari resonansi kawat getar tersebut akan mengeluarkan frekwensi yang akan di rekam oleh unit alat baca. Perubahan tenakan air ini yang akan mempengaruhi besarnya frekwensi yang terbaca di unit alat baca. Selain itu, pola rembesan, zona perpipaan yang mungkin, dan efektivitas pengendalian rembesan yang digunakan dapat dievaluasi dengan bantuan alat ini. Saat ini piezometer banyak digunakan untuk Pemantauan stabilitas dan keamanan tanggul, Mengukur beban air di belakang dinding penahan tanah, Menilai konsolidasi tanah, Pengukuran tekanan pengangkatan yang bekerja pada fondasi struktural, Verifikasi pola dan model rembesan, Pemantauan stabilitas lereng, Pemantauan ketinggian air untuk pengendalian lingkungan, Penilaian pengaruh pasang surut, Pengujian Pompa. Karena pentingnya instrumen tersebut dan mempunyai sensitifitas yang tinggi, maka sebelum dilakukan pemasangan perlu dilakukan kalibrasi untuk memastikan peralatan berfungsi dengan baik dan akurat. Beberapa metode pelaksanaan kalibrasi insitu yang sering digunakan adalah dengan metode celup dan metode chamber atau cell yang bertekanan. Dalam studi ini akan membandingkan kedua metode tersebut sejauh mana tingkat keakuratan pelaksanaan kalibrasi yang dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan untuk penerimaan instrumen dari pabrikan tertentu. Berdasarkan dari penelitian yang telah dilakukan maka kalibrasi dengan metode chamber lebih akurat dan bisa diterima setelah dilakukan analisa. Karena dalam pelaksanaannya bisa lebih teliti dan tidak banyak gangguan eksternal seperti pada metode kalibrasi metode celup yang dilaksanakan di danau atau waduk yang banyak terjadi gangguan dari luar.

Kata kunci: Piezometer, *Vibrating wire*, Metode Kalibrasi.

Abstract

Piezometers are geotechnical monitoring instruments commonly used to obtain pore water pressure or groundwater level values. The most popular piezometer is the electric type (vibrating wire). The way this type of piezometer works is that the pore water pressure acting on the diaphragm causes a change in voltage and resonance on the vibrating wire. From the resonance of the vibrating wire will issue a frequency that will be recorded by the reading unit. This change in water force will affect the magnitude of the frequency read in the reading unit. In addition, seepage patterns, possible piping zones, and the effectiveness of seepage control used can be evaluated with the help of this tool. Currently piezometers are widely used for Monitoring embankment stability and safety, Measuring water load behind retaining walls, Assessing soil consolidation, Measurement of uplift pressure acting on structural foundations, Verification of seepage patterns and models, Monitoring slope stability, Monitoring water levels for environmental control, Assessment of tidal influence, Pump testing. Due to the importance of these instruments and their high sensitivity, it is necessary to calibrate them before installation to ensure that the equipment functions properly and accurately. Some methods of conducting in-situ calibration that are often used are the dip method and the pressurized chamber or cell method. This study will compare the two methods to determine the accuracy of the calibration implementation that can be used as a consideration for the acceptance of instruments from certain manufacturers. Based on the research that has been done, calibration with the chamber method is more accurate and acceptable after analysis. Because in its implementation it can be more thorough and there is not much external disturbance as in the dip method calibration method carried out in lakes or reservoirs where there is a lot of external disturbance..

Keywords: Piezometer, *Vibrating Wire*, Calibration Method.



Copyright © 2024 The Author(s)

This is an open access article under the [CC -NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) license.

1. PENDAHULUAN

Piezometer merupakan instrumen pemantauan geoteknik yang umumnya digunakan untuk mendapatkan nilai tekanan air pori atau ketinggian air tanah. Piezometer yang paling populer adalah jenis kawat getar (*vibrating wire*). Cara kerja piezometer jenis ini adalah Tekanan air pori yang bekerja pada diafragma menyebabkannya perubahan tegangan dan resonansi pada kawat getar.

Saat ini piezometer banyak digunakan untuk Pemantauan stabilitas dan keamanan tanggul, Mengukur beban air di belakang dinding penahan tanah, Menilai konsolidasi tanah, Pengukuran tekanan pengangkatan yang bekerja pada fondasi struktural, Verifikasi pola dan model rembesan, Pemantauan stabilitas lereng, Pemantauan ketinggian air untuk pengendalian lingkungan, Penilaian pengaruh pasang surut, Pengujian Pompa.

Kalibrasi instrumentasi piezometer adalah hal penting yang harus diperhatikan, tergantung pada jenisnya. Piezometer jenis *vibrating wire* biasanya telah dikalibrasi di pabrik pembuatnya, dan sertifikat kalibrasi biasanya disertakan dengan manual dan paket dokumen.

Namun, penting untuk memastikan bahwa peralatan dalam kondisi baik dan kalibrasinya tidak berubah selama perjalanan dari pabrik ke lokasi proyek. Saat alat tiba di lokasi pemesanan, kalibrasi ulang harus dilakukan.

Penting untuk memeriksa semua peralatan dalam pengiriman sesegera mungkin setelah menerima pengiriman dan sebelum instalasi akan dilakukan. Periksa bahwa semua komponen yang dirinci pada dokumen sudah termasuk dalam pengiriman. Pastikan peralatan belum rusak secara fisik. *Vibrating Wire Piezometer* adalah peralatan yang sangat sensitif sehingga dalam proses penyimpanan, transportasi dan pemasangannya harus selalu ditangani dengan hati-hati.

Untuk pelaksanaan kalibrasi di *site* dapat dilakukan dengan 2 metode yaitu dengan metode celup dimana mata piezometer dicelupkan pada kedalaman air tertentu dan dilakukan analisa hasil bacaan alat dan dibandingkan dengan tekanan terukur yang diterima mata piezometer. Sedangkan metode yang kedua adalah metode chamber (cell bertekanan) yaitu dimana mata piezometer akan ditempatkan dalam chamber atau cell yang

berisi air dan diberi tekanan tertentu sesuai dengan kebutuhan kemudian hasil analisa bacaan alat dibandingkan dengan tekanan yang telah diberikan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan tingkat ketelitian, keakurasian dan kemudahan pada pelaksanaan kalibrasi ulang setelah unit diterima di lokasi proyek. Sehingga unit peralatan yang diterima layak untuk dipasang sesuai dengan lokasi penempatan yang telah direncanakan

2. METODE

Bahan dan Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini untuk metode celup adalah *Tips Piezometer tipe W9 vibrating wire piezometer (SN 078205)*, unit alat baca *AVW200 data logger* yang diproduksi oleh *Soil instrument limited*, meteran bandul untuk cek kedalaman air, perahu boat, dan peralatan penunjang lainnya yang dibutuhkan. Untuk pelaksanaan kalibrasi ulang ini adalah di Waduk Jatiluhur Jawa Barat.

Sedangkan untuk peralatan pada metode chamber adalah *Tips Piezometer tipe W9 vibrating wire piezometer (SN 078205)*, unit alat baca *AVW200 data logger* yang diproduksi oleh *Soil instrument limited*, unit peralatan chamber untuk tempat pengetesan tips, *Pressure Gauge Digital* tipe *DY600* yang diproduksi oleh *HangZhou DongYa Instrument* (yang disertai sertifikat kalibrasi), pompa untuk pengaturan tekanan, serta peralatan pendukung lainnya. Lokasi pelaksanaan adalah di kantor direksi Pembangunan Bendungan Jragung.



Gambar 1. *Tips Piezometer*



Gambar 2. *Data Logger* (unit alat baca)



Gambar 3. Peralatan Chamber (Cell bertekanan)

Metode penelitian

Sebelum pelaksanaan kalibrasi, kita perlu menetapkan pembacaan nol awal (*zero reading*) tanpa penerapan beban. Pemeriksaan berikut ini diperlukan untuk mendapatkan pembacaan nol awal yang akurat (Soil Instruments Ltd., 2022):

1. Apakah suhu badan piezometer kawat getar telah mencapai kesetimbangan termal penuh?
Variasi suhu di seluruh massa badan piezometer dapat mengakibatkan pembacaan suhu yang tidak konsisten dengan seluruh instrumen kawat getar. Ketidakkonsistenan ini akan mengakibatkan kesalahan pada tekanan yang dihitung yang dibaca oleh sensor kawat getar. Biarkan 20 hingga 30 menit agar suhu piezometer kawat getar menjadi seimbang. Sumber fluktuasi suhu, seperti aliran air, mungkin harus dihilangkan.
2. Apakah batu filter sudah jenuh?
Efek tegangan permukaan di dalam ruang pori-pori filter dapat mempengaruhi pembacaan nol jika batu filter hanya jenuh sebagian. Hal ini dapat menjadi masalah terutama pada tekanan rendah (kurang dari 350 kPa). Lepaskan batu filter untuk memungkinkan koneksi atmosfer langsung dengan diafragma transduser jika ada tidak yakin dengan kejenuhan batu filter.

Untuk pelaksanaan kalibrasi metode celup dapat dilakukan sebagai berikut dibawah ini:

1. Kalibrasi dapat dilaksanakan di waduk dengan mencari kedalaman yang sesuai dengan kebutuhan maksimum tekanan yang akan digunakan dengan cara dicelupkan.
2. Sambungkan setiap tips piezometer ke unit alat bacanya (*data logger*).
3. Masukkan tips atau mata pisometer ke dalam air dengan sampai kedalaman tertentu (dianjurkan setiap 1 m) dan catat hasil bacaan dari *data logger* setiap interval kedalaman air.
4. Setelah mencapai kedalaman yang diinginkan dan dilakukan pembacaan maka angkat tips pisometer dengan interval tertentu dan catat hasil bacaan dengan interval yang sama pada saat celup.
5. Ploting hasil bacaan *data logger* dan dilakukan analisa.

Sedangkan untuk pelaksanaan kalibrasi dengan metode *chamber (cell bertekanan)* dilakukan seperti tersebut dibawah ini:

1. Masukkan Tips piezometer (setelah dirangkai/ dihubungkan ke *data logger*) ke dalam chamber (cell bertekanan).
2. Isi chamber dengan air melalui saluran pemberian yang telah disediakan.
3. Setelah chamber terisi air penuh tanpa ada gelembung udara, matikan kran dan persiapkan untuk pemberian tekanan pada chamber.
4. Berikan tekanan pada sel secara bertahap, yaitu dengan peningkatan setiap 10 kPa (sesuai dengan ketelitian alat ukurnya), dan catat tekanan dari unit data logger. Teruskan meningkatkan tekanan pada chamber dan catat kembali sampai tekanan maksimum yang dibutuhkan (tergantung dengan kapasitas setiap tips piezometer) tercapai.
5. Pencatatan harus dilakukan pada setiap kondisi pemberian tekanan naik dan turun dengan interval tertentu.
6. Ploting hasil bacaan *data logger* dan dilakukan analisa.



Gambar 4. Skema kalibrasi metode chamber

Unit pengukuran tekanan air pori dapat diturunkan dari unit *data logger* adalah berbasis frekuensi ($f^2/1000$) yang diukur dengan pembacaan kawat getar (*vibrating wire*). Dari satuan 'periode' dan dari satuan 'linier' ($f^2/1000$) menggunakan dua metode, persamaan linier sederhana atau persamaan polinomial. Pada penelitian ini diterapkan persamaan 'polinomial' berikut dibawah ini untuk menghitung satuan *kPa* dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi.

$$E = (AR1^2 + BR1 + C) \dots \dots \dots (1)$$

Di mana;

E : unit *engineering* yang dihasilkan
A, B dan C adalah faktor pengukur polinomial
A, B dan C, (diambil dari sertifikat kalibrasi)
R1: pembacaan saat ini.

Nilai 'C' adalah nilai *offset* dan berhubungan dengan nilai nol yang dibaca oleh transduser pada saat kalibrasi. Nilai tersebut harus dihitung ulang pada waktu pemasangan dengan persamaan sebagai berikut;

$$C = - (AR0^2 + BR0) \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

A dan B adalah seperti di atas
R0 adalah basis linier instalasi atau pembacaan nol (*zero reading*).

Harap diperhatikan bahwa nilai C yang dihitung ulang harus sama dengan nilai asli C, jadi jika nilai aslinya negatif maka nilai yang dihitung ulang juga harus negatif.

Hasil pelaksanaan kalibrasi yang telah dicatat dalam form kalibrasi selanjutnya dilakukan Analisa apakah *tips piezometer* (mata piezometer) bisa diterima untuk dilakukan pemasangan atau harus diganti dengan yang baru yang sesuai dengan spesifikasi teknis. Selanjutnya dilakukan perhitungan akurasi dengan persamaan berikut dibawah ini:

$$\%FS \text{ Error} = \frac{\text{Calculated Pressure} - \text{Test Pressure}}{\text{Range}} \times 100 \dots \dots \dots (3)$$

%FS Error adalah persentasi kesalahan dari range tips piezometer

Calculated Pressure adalah Pembacaan ($f^2/1000$) yang dikonversi ke unit satuan tekanan dengan menggunakan persamaan faktor ABC.

Test Pressure adalah Tekanan yang diterapkan pada tips piezometer.

Range adalah Rentang jangkauan kapasitas tekanan tips piezometer.

Specifications	
Sensor	
Range (kpa)	150 300 500 700 1000 1500 2000 4000 6000 10000 15000
Material	316 grade Stainless Steel
Accuracy	±0.1% full scale
Linearity	±0.1% full scale
Resolution ¹	0.025% full scale (minimum)
Over range	200% of full scale
Diaphragm displacement	< 0.001 cm ³
Diameter	28mm
Weight (without cable & filter)	980g
Temperature range	-20° to +80°C
Excitation method	Pluck or sweep

Gambar 5. Spesifikasi *Tips Piezometer*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut dibawah ini adalah sertifikat kalibrasi dan data hasil pelaksanaan kalibrasi ulang yang telah dilaksanakan di Bendungan Jatiluhur, untuk Analisa data ini menggunakan tips piezometer merk Soil Instrument tipe W9 *Vibrating wire SN 078205* dengan kapasitas 0 sampai dengan 700 kPa.

soil INSTRUMENTS
Bell Lane, Uckfield, East Sussex
TN22 1QJ, United Kingdom t: +44 (0) 1825 765044 e: info@soilinstruments.com w: www.soilinstruments.com
Soil Instruments Limited, Registered in England, Number: 07960087, Registered Office: 3rd Floor, 1 Ashley Road, Atrincham, Cheshire, WA14 2DJ, UK

VIBRATING WIRE INSTRUMENTS CALIBRATION CERTIFICATE

Instrument Type : W9 Vibrating Wire Piezometer Serial No. : 078205 134M
Instrument Range : 0.00 to 700.0 kPa Calibration Date : 19/08/2022
Gauge Factors in kPa Ambient Temperature : 23°C
Period Gauge Factor (K): 5954.7900000 Barometric Pressure : 1012 mbar
Linear Gauge Factor (G): (kPa/digit)0.5954900 Calibration Technician : James Smith
Polynomial Gauge Factor A: -0.000003687164000 Calibration Equipment: Mensor APC 600
Polynomial Gauge Factor B: -0.5508391000 AYW200 Data Logger
Polynomial Gauge Factor C** : 3820.676000 Regression Zero : 6642.2

Applied (kPa)	Reading (Period)	Reading F ² /1000	Calculated (Linear)	Error %FS (Linear)	Linear Increment	Calculated (Polynomial)	Error %FS (Polynomial)
0.00	3880.3	6641.7	0.286	0.04	0.0	-0.481	-0.07
70.00	3915.3	6523.3	70.790	0.11	-118.4	70.486	0.07
140.00	3950.7	6406.9	140.194	0.01	-116.4	140.153	0.02
210.00	3987.3	6289.9	209.775	-0.03	-117.0	210.079	0.01
280.00	4024.9	6172.8	279.506	-0.07	-117.1	279.963	-0.01
350.00	4063.8	6055.3	349.475	-0.08	-117.5	349.984	0.00
420.00	4103.8	5937.8	419.443	-0.08	-117.5	419.904	-0.01
490.00	4145.1	5820.1	489.531	-0.07	-117.7	489.840	-0.02
560.00	4187.8	5701.9	559.917	-0.01	-118.2	559.971	0.00
630.00	4231.9	5583.9	630.183	0.03	-118.0	629.880	-0.02
700.00	4277.6	5465.0	700.986	0.14	-118.9	700.219	0.03

Formulae: Linear* E = G(R0 - R1)
Polynomial** E = AR1² + BR1 + C

* The zero reading should be established on site by the user on installation.
** The site value of C must be calculated using the formula C = -(AR0² + BR0)

The instrument detailed hereon has, as applicable, been tested and calibrated in accordance with procedures, which are part of our ISO 9001:2008 Quality Management System, and unless otherwise indicated, performs within ± 0.10% (Polynomial) as specified. Thus, the instrument conforms in all respects to our relevant specifications and drawings.

Certified: Line MANAGER

Gambar 6. Sertifikat kalibrasi *Tips Piezometer* SN 078205

Tabel 1. Hasil Bacaan kalibrasi ulang metode celup di Bendungan Jatiluhur SN 078205

Kedalaman air (m air)	Reading (f ² /1000)	Temp T (°C)	Kedalaman air (m air)	Reading (f ² /1000)	Temp T (°C)
0	6647.8	29.0	67	5549.3	27.0
1	6630.7	28.8	66	5565.9	27.0
2	6614.2	28.8	65	5582.2	27.0
3	6598.1	28.7	64	5599.6	27.0
4	6582.2	28.6	63	5615.9	27.0
5	6565.4	28.6	62	5632.5	27.0
6	6549.2	28.6	61	5648.9	27.0
7	6533.4	28.6	60	5665.2	27.0
8	6516.6	28.5	59	5682.5	27.0

Kedalaman air (m air)	Reading (f ² /1000)	Temp T (°C)	Kedalaman air (m air)	Reading (f ² /1000)	Temp T (°C)
9	6500.2	28.5	58	5699.6	27.0
10	6484.0	28.4	57	5716.1	27.1
11	6467.5	28.4	56	5732.3	27.0
12	6450.9	28.4	55	5748.6	27.0
13	6433.9	28.3	54	5765.5	27.0
14	6416.5	28.2	53	5782.0	27.0
15	6399.7	28.2	52	5798.5	27.0
16	6382.7	28.1	51	5815.1	27.0
17	6366.6	28.1	50	5831.7	27.0
18	6350.8	28.0	49	5848.1	27.0
19	6334.7	27.9	48	5865.8	27.0
20	6317.9	27.9	47	5878.4	27.0
21	6302.2	27.8	46	5895.8	27.0
22	6285.5	27.8	45	5914.6	27.0
23	6269.8	27.7	44	5931.6	27.0
24	6254.3	27.7	43	5946.9	27.0
25	6236.9	27.6	42	5964.9	27.0
26	6220.3	27.6	41	5981.3	27.0
27	6204.7	27.6	40	5996.5	27.0
28	6188.1	27.5	39	6013.9	27.0
29	6171.7	27.5	38	6030.5	27.0
30	6155.3	27.5	37	6047.4	27.0
31	6139.3	27.4	36	6063.6	27.1
32	6123.0	27.4	35	6079.8	27.1
33	6106.9	27.4	34	6096.2	27.1
34	6090.3	27.4	33	6113.4	27.1
35	6074.0	27.4	32	6129.3	27.1
36	6057.5	27.4	31	6146.0	27.1
37	6041.9	27.3	30	6162.4	27.1
38	6025.1	27.3	29	6179.2	27.1
39	6009.0	27.3	28	6195.4	27.1
40	5992.2	27.2	27	6212.3	27.1
41	5975.8	27.2	26	6228.4	27.1
42	5959.9	27.2	25	6245.3	27.2
43	5943.6	27.2	24	6261.3	27.2
44	5927.2	27.2	23	6278.3	27.2
45	5910.3	27.2	22	6295.0	27.2
46	5894.2	27.2	21	6311.1	27.2
47	5878.0	27.1	20	6327.3	27.2
48	5861.8	27.1	19	6344.3	27.2
49	5845.3	27.1	18	6360.0	27.3
50	5828.4	27.1	17	6376.9	27.3
51	5812.0	27.1	16	6392.7	27.3
52	5795.5	27.1	15	6408.8	27.3
53	5779.4	27.1	14	6424.7	27.3
54	5763.0	27.1	13	6440.5	27.3
55	5746.5	27.1	12	6459.3	27.4
56	5729.9	27.1	11	6476.6	27.4
57	5713.8	27.0	10	6493.8	27.5
58	5697.2	27.0	9	6510.7	27.5
59	5681.0	27.0	8	6524.9	27.6
60	5663.8	27.0	7	6543.7	27.7
61	5647.9	27.0	6	6559.8	27.8
62	5631.4	27.0	5	6575.7	27.8
63	5615.2	27.0	4	6592.0	27.9
64	5603.2	27.0	3	6608.2	28.0
65	5582.1	27.0	2	6625.2	28.0
66	5565.7	27.0	1	6641.1	28.1
67	5549.1	27.0	0	6656.4	28.2

Selanjutnya dihitung tekanan air dengan rumus:

$$E = (AR1^2 + BR1 + C)$$

$$C = - (AR0^2 + BR0)$$

Dari sertifikat kalibrasi didapatkan nilai:

$$A = -0.000003687164$$

$$B = -0.5508391$$

Bacaan *zero reading* di lokasi R0 = 6647,8 Hz dengan bacaan suhu T = 29° C

Dengan rumus diatas nilai C adalah:

$$C = - ((-0.5508391 * 6647,8^2) + (-0.5508391 * 6647,8))$$

$$= 3824.816$$

Contoh perhitungan tekanan (E) pada aplikasi tekanan 1 mH₂O = 9,8 kPa bacaan yang

didapatkan dari *data logger* adalah R1 = 6630.7 Hz T = 28,8° C maka nilai:

$$E = (-0.000003687164 * 6630.7^2 + -0.5508391 * 6630.7 + 3824.816)$$

$$= 10.257 \text{ kPa}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan Nilai akurasinya yaitu Persentase *Full Scale Error* (%FS Error):

$$\%FS \text{ Error} = \frac{\text{Calculated Pressure} - \text{Test Pressure}}{\text{Range}} \times 100$$

$$\%FS \text{ Error} = \frac{10.257 - 9,8}{700} \times 100$$

$$= 0,07 \% < \mathbf{0,1 \%}$$
 (Syarat sesuai Spek)

Perhitungan diatas dilakukan pada setiap pemberian tekanan yang diberikan sesuai dengan interval yang telah dilaksanakan dari R1, R2, R3, dst sampai nilai maksimum atau sesuai dengan kapasitas dari *tips piezometer*.

Langkah selanjutnya adalah analisa nilai *Histeresis* yaitu dengan membandingkan *tips piezometer* adalah perbedaan nilai yang didapatkan pada saat pemberian tekanan yang meningkat dengan pemberian tekanan yang menurun. Karena Instrumen dengan histeresis yang besar tidak cocok untuk pengukuran parameter yang berubah dengan cepat. Adapun persamaan yang digunakan adalah:

$$\%FS \text{ Error} = \frac{\text{Cal. Pressure Up} - \text{Cal. Pressure Down}}{\text{Range}} \times 100$$

Berikut dibawah adalah contoh perhitungan nilai *Histeresis* pada pemberian tekanan 1 mH₂O dengan menggunakan persamaan diatas:

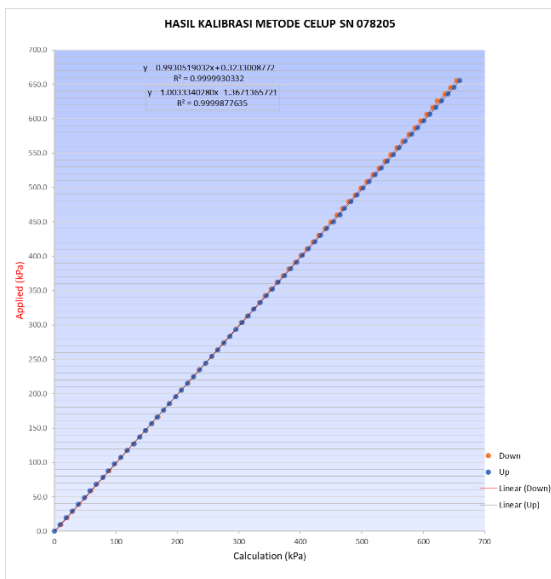
$$\%FS \text{ Error} = \frac{10,257 - 9,178}{700} \times 100$$

$$= 0,15 \% < \mathbf{0,1 \%}$$

(tidak memenuhi syarat sesuai Spek)

Seperti halnya pada analisa akurasi, perhitungan dilakukan setiap pemberian tekanan yang diberikan sesuai dengan interval yang telah dilaksanakan dari R1, R2, R3, dst sampai nilai maksimum atau sesuai dengan kapasitas dari *tips piezometer*.

Dari perhitungan diatas kemudian di plotting pada grafik dan tabel hasil perhitungan secara keseluruhan seperti pada gambar dan tabel dibawah ini:



Gambar 6. Grafik kalibrasi *Tips Piezometer* SN 078205

Tabel 2. Hasil perhitungan kalibrasi ulang metode celup di SN 078205

Applied (Kpa)	Calculated (Kpa)	Accuracy (%) FS	Remark FS < ±0.1%	Applied (Kpa)	Calculated (Kpa)	Accuracy (%) FS	Remark FS < ±0.1%	Histerisys Analisis	Remark
								Selish Bacaan Naik dan Turun	Error % FS
0	0.00	0.00	DITERIMA	0	0.00	0.00	DITERIMA	0.00	0
9.78	10.257	0.07	DITERIMA	10	9.178	0.09	DITERIMA	1.08	0.154
19.57	20.15	0.08	DITERIMA	20	18.71	0.12	DITOLAK	1.44	0.205
29	29.80	0.06	DITERIMA	29	28.91	0.06	DITERIMA	0.90	0.128
39	39.34	0.03	DITERIMA	39	38.52	0.07	DITERIMA	0.72	0.182
49	49.40	0.07	DITERIMA	49	48.39	0.08	DITERIMA	1.01	0.145
59	59.11	0.06	DITERIMA	59	57.92	0.11	DITOLAK	1.19	0.170
68	68.58	0.01	DITERIMA	68	67.56	0.13	DITOLAK	1.01	0.144
78	78.64	0.05	DITERIMA	78	78.83	0.08	DITERIMA	-0.19	0.027
88	88.46	0.06	DITERIMA	88	87.33	0.10	DITOLAK	1.13	0.161
98	98.16	0.04	DITERIMA	98	97.45	0.06	DITERIMA	0.71	0.101
108	108.04	0.06	DITERIMA	108	107.75	0.02	DITERIMA	0.29	0.041
117	117.97	0.08	DITERIMA	117	118.10	0.10	DITERIMA	-0.13	0.019
127	128.14	0.13	DITOLAK	127	129.35	0.31	DITOLAK	-1.21	0.173
137	138.55	0.22	DITOLAK	137	138.80	0.26	DITOLAK	-0.25	0.036
147	148.60	0.26	DITOLAK	147	148.32	0.22	DITOLAK	0.28	0.040
157	158.76	0.32	DITOLAK	157	157.94	0.30	DITOLAK	0.82	0.117
166	168.39	0.29	DITOLAK	166	167.39	0.15	DITOLAK	1.00	0.143
176	177.83	0.24	DITOLAK	176	177.49	0.20	DITOLAK	0.34	0.049
186	187.46	0.22	DITOLAK	186	186.88	0.14	DITERIMA	0.58	0.083
196	197.49	0.26	DITOLAK	196	197.04	0.19	DITOLAK	0.46	0.065
205	206.57	0.20	DITOLAK	205	206.71	0.18	DITOLAK	0.16	0.022
215	216.85	0.23	DITOLAK	215	216.33	0.15	DITOLAK	0.51	0.074
225	226.22	0.17	DITOLAK	225	226.30	0.18	DITOLAK	-0.08	0.012
235	235.47	0.09	DITERIMA	235	236.46	0.23	DITOLAK	-0.98	0.140
245	245.86	0.18	DITOLAK	245	246.01	0.20	DITOLAK	-0.15	0.021
254	255.77	0.19	DITOLAK	254	256.09	0.24	DITOLAK	-0.33	0.046
264	265.07	0.13	DITOLAK	264	265.70	0.32	DITOLAK	-0.62	0.089
274	274.98	0.14	DITOLAK	274	275.78	0.26	DITOLAK	-0.80	0.115
284	284.76	0.14	DITOLAK	284	285.44	0.24	DITOLAK	-0.69	0.098
294	294.54	0.14	DITOLAK	294	295.46	0.27	DITOLAK	-0.93	0.132
303	304.08	0.11	DITOLAK	303	305.24	0.27	DITOLAK	-1.16	0.166
313	313.79	0.10	DITERIMA	313	315.20	0.30	DITOLAK	-1.40	0.201
323	323.39	0.07	DITERIMA	323	323.57	0.25	DITOLAK	-0.18	0.064
333	333.28	0.09	DITERIMA	333	334.92	0.32	DITOLAK	-1.64	0.235
342	342.99	0.07	DITERIMA	342	344.69	0.32	DITOLAK	-1.70	0.243
352	352.81	0.08	DITERIMA	352	354.34	0.30	DITOLAK	-1.53	0.218
362	362.10	0.01	DITERIMA	362	363.99	0.28	DITOLAK	-1.88	0.269
372	372.10	0.04	DITERIMA	372	374.05	0.32	DITOLAK	-1.94	0.278
382	381.89	0.11	DITOLAK	382	383.93	0.33	DITOLAK	-2.04	0.240
391	391.68	0.04	DITERIMA	391	394.29	0.41	DITOLAK	-2.60	0.371
401	401.44	0.04	DITERIMA	401	403.33	0.31	DITOLAK	-1.89	0.270
411	410.90	0.01	DITERIMA	411	413.09	0.30	DITOLAK	-2.19	0.312
421	420.59	0.02	DITERIMA	421	423.79	0.44	DITOLAK	-3.20	0.457
431	430.35	0.03	DITERIMA	431	432.89	0.34	DITOLAK	-2.54	0.363
440	440.39	0.01	DITERIMA	440	443.00	0.38	DITOLAK	-2.60	0.372
450	449.96	0.02	DITERIMA	450	454.17	0.58	DITOLAK	-4.21	0.601
460	459.59	0.04	DITERIMA	460	464.51	0.66	DITOLAK	-4.92	0.703
470	469.21	0.06	DITERIMA	470	472.00	0.33	DITOLAK	-2.78	0.398
479	479.01	0.06	DITERIMA	479	482.51	0.44	DITOLAK	-3.50	0.499
489	489.05	0.03	DITERIMA	489	493.25	0.43	DITOLAK	-3.20	0.457
499	498.79	0.03	DITERIMA	499	502.11	0.44	DITOLAK	-3.32	0.474
509	508.58	0.03	DITERIMA	509	511.96	0.45	DITOLAK	-3.38	0.483
519	518.14	0.06	DITERIMA	519	521.76	0.45	DITOLAK	-3.62	0.517
528	527.87	0.07	DITERIMA	528	531.55	0.45	DITOLAK	-3.68	0.525
538	537.66	0.07	DITERIMA	538	541.57	0.49	DITOLAK	-3.91	0.559
548	547.51	0.06	DITERIMA	548	551.24	0.47	DITOLAK	-3.74	0.534
558	557.05	0.10	DITERIMA	558	560.85	0.45	DITOLAK	-3.80	0.542
568	566.90	0.09	DITERIMA	568	570.63	0.45	DITOLAK	-3.74	0.534
577	576.50	0.11	DITOLAK	577	580.77	0.50	DITOLAK	-4.27	0.610
587	586.69	0.06	DITERIMA	587	591.02	0.56	DITOLAK	-4.33	0.618
597	596.12	0.11	DITOLAK	597	600.68	0.54	DITOLAK	-4.57	0.652
607	605.89	0.11	DITOLAK	607	610.40	0.53	DITOLAK	-4.51	0.644
616	615.49	0.14	DITOLAK	616	620.23	0.54	DITOLAK	-4.74	0.678
626	622.59	0.52	DITOLAK	626	629.88	0.52	DITOLAK	-7.29	1.042
636	635.09	0.13	DITOLAK	636	640.19	0.60	DITOLAK	-5.10	0.729
646	644.79	0.14	DITOLAK	646	649.83	0.58	DITOLAK	-5.04	0.720
656	654.62	0.14	DITOLAK	656	659.66	0.58	DITOLAK	-5.04	0.720

Terlihat dari grafik diatas untuk nilai regresi adalah 0,99 yang artinya adanya keterkaitan yang baik antar setiap pemberian tekanan yang diberikan. Akan tetapi pada analisa akurasi dan

histeresis terdapat beberapa hasil yang tidak memenuhi syarat sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan oleh pabrikan pembuat alat.

Berikut dibawah ini adalah data hasil bacaan kalibrasi ulang dengan metode *chamber* yang dilaksanakan di kantor direksi Pembangunan Bendungan Jragung.

Tabel 3. Hasil Bacaan kalibrasi ulang metode *chamber* di Bendungan Jragung SN 078205

Applied Up (Kpa)	Reading L ₁ (f ² /1000)	Temp T (°C)	Applied Down (Kpa)	Reading L ₁ (f ² /1000)	Temp T (°C)
10.08	6638.7	29.7	10.08	6638.3	32.9
20.00	6622.2	29.7	20.00	6621.7	32.9
30.08	6605.4	29.8	30.08	6604.8	32.9
40.00	6588.8	29.8	40.00	6588.4	32.9
50.08	6571.9	29.8	50.08	6571.7	32.9
60.00	6555.0	29.8	60.00	6554.8	32.9
70.08	6538.4	29.9	70.08	6538.7	32.9
80.00	6521.9	29.9	80.00	6521.8	32.9
90.08	6504.9	29.9	90.08	6505.0	32.9
100.00	6488.4	30.0	100.00	6488.4	32.9
110.08	6471.8	30.0	110.08	6471.7	32.8
120.00	6455.0	30.0	120.00	6455.1	32.8
130.08	6438.1	30.0	130.08	6438.7	32.8
140.00	6421.7	30.1	140.00	6422.0	32.8
150.08	6405.0	30.1	150.08	6405.3	32.8
160.00	6388.2	30.1	160.00	6388.5	32.8
170.08	6371.5	30.1	170.08	6371.9	32.8
180.00	6354.9	30.1	180.00	6355.3	32.8
190.08	6338.1	30.2	190.08	6338.3	32.8
200.00	6321.3	30.2	200.00	6321.6	32.7
210.08	6304.4	30.2	210.08	6304.9	32.7
220.00	6287.6	30.2	220.00	6288.1	32.7
230.08	6271.1	30.3	230.08	6271.4	32.7
240.00	6254.2	30.3	240.00	6254.7	32.6
250.08	6237.4	30.3	250.08	6237.9	32.6
260.00	6220.7	30.3	260.00	6220.5	32.6
270.08	6203.6	30.3	270.08	6204.2	32.6
280.00	6186.9	30.4	280.00	6187.5	32.6
290.08	6170.1	30.4	290.08	6170.8	32.6
300.00	6153.2	30.4	300.00	6153.8	32.6
310.08	6136.1	30.4	310.08	6136.8	32.6
320.00	6119.5	30.4	320.00	6119.5	32.6
330.08	6102.7	30.5	330.08	6103.0	32.6
340.00	6085.9	30.5	340.00	6086.1	32.6
350.08	6068.8	30.6	350.08	6069.1	32.6
360.00	6052.4	30.6	360.00	6052.8	32.5
370.08	6035.3	30.7	370.08	6035.6	32.5
380.00	6018.7	30.7	380.00	6019.4	32.5
390.08	6001.5	30.8	390.08	6002.0	32.5
400.00	5986.6	30.9	400.00	5986.0	32.5
410.08	5967.8	30.9	410.08	5967.9	32.5
420.00	5951.5	31.0	420.00	5951.7	32.5
430.08	5934.8	31.0	430.08	5934.5	32.5
440.00	5917.9	31.1	440.00	5917.4	32.4
450.08	5900.8	31.1	450.08	5900.9	32.4
460.00	5883.8	31.1	460.00	5883.6	32.4
470.08	5866.7	31.2	470.08	5867.4	32.4
480.00	5849.9	31.2	480.00	5849.9	32.4
490.08	5833.2	31.2	490.08	5832.9	32.4
500.00	5816.2	31.2	500.00	5816.9	32.4
510.08	5799.9	31.3	510.08	5799.9	32.4
520.00	5782.5	31.3	520.00	5782.9	32.4
530.08	5765.7	31.3	530.08	5766.2	32.4
540.00	5748.8	31.4	540.00	5749.2	32.3
550.08	5731.9	31.4	550.08	5731.9	32.3
560.00	5715.2	31.4	560.00	5715.8	32.3
570.08	5698.2	31.5	570.08	5698.6	32.3
580.00	5681.5	31.5	580.00	5682.0	32.3
590.08	5664.4	31.6	590.08	5664.9	32.3
600.00	5647.8	31.6	600.00	5648.2	32.2
610.08	5630.7	31.7	610.08	5630.8	32.2
620.00	5614.7	31.7	620.00	5614.4	32.2
630.08	5598.9	31.7	630.08	5598.4	32.2
640.00	5581.6	31.8	640.00	5581.7	32.2
650.08	5563.6	31.8	650.08	5563.9	32.2
660.00	5547.1	31.8	660.00	5547.0	32.2
670.08	5529.9	31.9	670.08	5529.8	32.1
680.00	5514.2	31.9	680.00	5514.2	32.1
690.08	5497.4	32.0	690.08	5497.2	32.1
700.00	5479.9	32.0	700.00	5479.9	32.0

Dari data hasil bacaan tersebut dilakukan analisa perhitungan dengan persamaan yang sama seperti persamaan yang digunakan pada metode celup dan berikut dibawah ini adalah tabel hasil analisa perhitungannya:

Tabel 2. Hasil perhitungan kalibrasi ulang metode *chamber SN 078205*

Applied Up (kPa)	Calculated UP E (kPa)	Accuracy % FS	Remark FS < ±0.1%	Calculated Down E (kPa)	Accuracy % FS	Remark FS < ±0.1%	Histerisys Analisys		Remark FS < ±0.1%
							Selish Bacaan Naik dan Turun	Error %	
10.08	9.84	0.035	DITERIMA	10.08	0.000	DITERIMA	0.4	0.057	DITERIMA
20.00	19.73	0.038	DITERIMA	20.03	0.005	DITERIMA	0.5	0.071	DITERIMA
30.08	29.81	0.039	DITERIMA	30.17	0.012	DITERIMA	0.6	0.086	DITERIMA
40.00	39.76	0.039	DITERIMA	40.00	0.000	DITERIMA	0.4	0.057	DITERIMA
50.08	49.89	0.028	DITERIMA	50.01	0.010	DITERIMA	0.2	0.029	DITERIMA
60.00	60.01	0.002	DITERIMA	60.13	0.019	DITERIMA	0.2	0.029	DITERIMA
70.08	69.96	0.017	DITERIMA	69.78	0.043	DITERIMA	0.3	0.043	DITERIMA
80.00	79.84	0.022	DITERIMA	79.90	0.014	DITERIMA	0.1	0.014	DITERIMA
90.08	89.02	0.008	DITERIMA	89.96	0.017	DITERIMA	0.1	0.014	DITERIMA
100.00	99.90	0.014	DITERIMA	99.90	0.014	DITERIMA	0.0	0.000	DITERIMA
110.08	109.84	0.034	DITERIMA	109.90	0.026	DITERIMA	0.1	0.014	DITERIMA
120.00	119.90	0.015	DITERIMA	119.84	0.023	DITERIMA	0.1	0.014	DITERIMA
130.08	130.01	0.010	DITERIMA	129.85	0.062	DITERIMA	0.6	0.086	DITERIMA
140.00	139.82	0.026	DITERIMA	139.64	0.051	DITERIMA	0.3	0.043	DITERIMA
150.08	149.81	0.039	DITERIMA	149.63	0.064	DITERIMA	0.3	0.043	DITERIMA
160.00	159.85	0.021	DITERIMA	159.68	0.046	DITERIMA	0.3	0.043	DITERIMA
170.08	169.84	0.034	DITERIMA	169.60	0.069	DITERIMA	0.4	0.057	DITERIMA
180.00	179.76	0.034	DITERIMA	179.52	0.068	DITERIMA	0.4	0.057	DITERIMA
190.08	189.80	0.040	DITERIMA	189.68	0.057	DITERIMA	0.2	0.029	DITERIMA
200.00	199.84	0.023	DITERIMA	199.66	0.048	DITERIMA	0.3	0.043	DITERIMA
210.08	209.94	0.020	DITERIMA	209.64	0.063	DITERIMA	0.5	0.071	DITERIMA
220.00	219.97	0.004	DITERIMA	219.67	0.047	DITERIMA	0.5	0.071	DITERIMA
230.08	229.82	0.037	DITERIMA	229.64	0.062	DITERIMA	0.3	0.043	DITERIMA
240.00	239.91	0.012	DITERIMA	239.62	0.055	DITERIMA	0.5	0.071	DITERIMA
250.08	249.94	0.020	DITERIMA	249.64	0.062	DITERIMA	0.5	0.071	DITERIMA
260.00	259.91	0.013	DITERIMA	260.03	0.004	DITERIMA	0.2	0.029	DITERIMA
270.08	270.11	0.004	DITERIMA	269.75	0.047	DITERIMA	0.6	0.086	DITERIMA
280.00	280.07	0.010	DITERIMA	279.71	0.041	DITERIMA	0.6	0.086	DITERIMA
290.08	290.09	0.002	DITERIMA	289.67	0.058	DITERIMA	0.7	0.100	DITERIMA
300.00	300.17	0.024	DITERIMA	299.81	0.027	DITERIMA	0.6	0.086	DITERIMA
310.08	310.36	0.040	DITERIMA	309.95	0.019	DITERIMA	0.7	0.100	DITERIMA
320.00	320.45	0.037	DITERIMA	320.26	0.037	DITERIMA	0.0	0.000	DITERIMA
330.08	330.27	0.027	DITERIMA	330.09	0.001	DITERIMA	0.3	0.043	DITERIMA
340.00	340.28	0.040	DITERIMA	340.16	0.023	DITERIMA	0.2	0.029	DITERIMA
350.08	350.46	0.055	DITERIMA	350.28	0.029	DITERIMA	0.3	0.043	DITERIMA
360.00	360.13	0.036	DITERIMA	359.99	0.001	DITERIMA	0.4	0.057	DITERIMA
370.08	370.41	0.047	DITERIMA	370.23	0.022	DITERIMA	0.3	0.043	DITERIMA
380.00	380.29	0.042	DITERIMA	379.88	0.018	DITERIMA	0.7	0.100	DITERIMA
390.08	390.53	0.064	DITERIMA	390.23	0.022	DITERIMA	0.5	0.071	DITERIMA
400.00	399.40	0.086	DITERIMA	399.76	0.035	DITERIMA	0.6	0.086	DITERIMA
410.08	410.58	0.072	DITERIMA	410.52	0.063	DITERIMA	0.1	0.014	DITERIMA
420.00	420.28	0.039	DITERIMA	420.16	0.022	DITERIMA	0.2	0.029	DITERIMA
430.08	430.21	0.018	DITERIMA	430.38	0.044	DITERIMA	0.3	0.043	DITERIMA
440.00	440.25	0.036	DITERIMA	440.35	0.079	DITERIMA	0.5	0.071	DITERIMA
450.08	450.42	0.048	DITERIMA	450.36	0.040	DITERIMA	0.1	0.014	DITERIMA
460.00	460.52	0.075	DITERIMA	460.64	0.092	DITERIMA	0.2	0.029	DITERIMA
470.08	470.68	0.086	DITERIMA	470.27	0.027	DITERIMA	0.7	0.100	DITERIMA
480.00	480.66	0.095	DITERIMA	480.66	0.095	DITERIMA	0.0	0.000	DITERIMA
490.08	490.58	0.083	DITERIMA	490.76	0.097	DITERIMA	0.3	0.043	DITERIMA
500.00	500.67	0.096	DITERIMA	500.26	0.037	DITERIMA	0.7	0.100	DITERIMA
510.08	510.35	0.039	DITERIMA	510.35	0.039	DITERIMA	0.0	0.000	DITERIMA
520.00	520.68	0.097	DITERIMA	520.44	0.063	DITERIMA	0.4	0.057	DITERIMA
530.08	530.65	0.093	DITERIMA	530.35	0.039	DITERIMA	0.5	0.071	DITERIMA
540.00	540.88	0.096	DITERIMA	540.44	0.063	DITERIMA	0.4	0.057	DITERIMA
550.08	550.70	0.089	DITERIMA	550.70	0.089	DITERIMA	0.0	0.000	DITERIMA
560.00	560.60	0.086	DITERIMA	560.25	0.035	DITERIMA	0.6	0.086	DITERIMA
570.08	570.68	0.086	DITERIMA	570.45	0.052	DITERIMA	0.4	0.057	DITERIMA
580.00	580.58	0.083	DITERIMA	580.29	0.041	DITERIMA	0.5	0.071	DITERIMA
590.08	590.72	0.091	DITERIMA	590.42	0.049	DITERIMA	0.5	0.071	DITERIMA
600.00	600.55	0.079	DITERIMA	600.32	0.045	DITERIMA	0.4	0.057	DITERIMA
610.08	610.68	0.086	DITERIMA	610.63	0.078	DITERIMA	0.1	0.014	DITERIMA
620.00	620.16	0.023	DITERIMA	620.34	0.048	DITERIMA	0.3	0.043	DITERIMA
630.08	629.53	0.080	DITERIMA	629.81	0.038	DITERIMA	0.5	0.071	DITERIMA
640.00	639.76	0.034	DITERIMA	639.70	0.043	DITERIMA	0.1	0.014	DITERIMA
650.08	650.42	0.048	DITERIMA	650.24	0.023	DITERIMA	0.3	0.043	DITERIMA
660.00	660.18	0.026	DITERIMA	660.24	0.034	DITERIMA	0.1	0.014	DITERIMA
670.08	670.36	0.040	DITERIMA	670.42	0.048	DITERIMA	0.1	0.014	DITERIMA
680.00	679.64	0.051	DITERIMA	679.64	0.051	DITERIMA	0.0	0.000	DITERIMA
690.08	689.58	0.071	DITERIMA	689.70	0.054	DITERIMA	0.2	0.029	DITERIMA
700.00	699.93	0.010	DITERIMA	699.93	0.010	DITERIMA	0.0	0.000	DITERIMA

Dari hasil Analisa akurasi kalibrasi ulang dengan metode cell bertekanan didapatkan akurasi yang baik sesuai dengan spesifikasi alat yaitu dengan ketelitian 0,1% FS (skala kapasitas) yang telah ditentukan dari pabrik pembuat alat. Dan peralatan bisa digunakan dan dipasang sesuai dengan lokasi yang telah ditetapkan.

Dari kedua metode kalibrasi yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa metode kalibrasi dengan metode chamber (cell bertekanan) lebih baik dan akurat dibandingkan dengan pelaksanaan kalibrasi metode celup, dengan catatan alat ukur tekanan yang dipasang pada cell bertekanan haruslah mempunyai sertifikat layak pakai dari badan sertifikasi nasional.

Penyebab kurang akurat dan ketelitian pelaksanaan kalibrasi metode celup adalah banyaknya faktor gangguan eksternal yang terjadi pada saat pelaksanaan di waduk yang antara lain: adanya gangguan faktor angin, sehingga kapal menjadi goyang, dan faktor arus bawah kondisi waduk (dimana pada saat pencelupan semakin kebawah maka akibat pengaruh arus maka posisi kabel unit tidak akan lurus terhadap tekanan air).

4. SIMPULAN

Dari pelaksanaan dan analisa perhitungan dua metode kalibrasi ulang yang telah dilakukan pada tips piezometer dengan nomor seri dan juga data logger yang sama maka dapat disimpulkan bahwa metode chamber lebih baik dan akurat dari pada metode celup. Sedangkan dari segi biaya akan lebih murah karena bisa dilaksanakan disemua tempat. Untuk metode celup memerlukan biaya yang relatif mahal dan hanya bisa dilaksanakan di tempat tertentu menyesuaikan dengan kebutuhan tekanan yang akan diterapkan.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih tujuan kepada BBWS Pemali Juana selaku pemilik pekerjaan, PT. CIP selaku vendor pengadaan instrumen piezometer, berbagai pihak yang membantu pelaksanaan penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

Balai Teknik Bendungan (2022). Bimbingan Teknis Pemeriksaan Besar, Modul 2 Evaluasi Instrumentasi

CDSO. (2016). *Guidelines for Instrumentation of Large Dams Guidelines for Instrumentation of Large Dams Central Water Commission Ministry of Water Resources, River Development & Ganga Rejuvenation Government of India*. Book, September 2016.

Geosense. (2021). Application Guide – Piezometers. Retrieved from <https://www.geosense.co.uk/wp-content/uploads/2021/05/Piezometers-Application-Guide-V1.1.pdf>

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia, Pusat Pendidikan Dan Pelatihan Sumber Daya Air Dan Konstruksi (2017). Modul Instrumentasi Bendungan Urugan Pelatihan Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar. Jakarta.

Prasad, R., & Dixit, M. (2020). *Performance Monitoring Of Dams through Piezometers - A Case Study. International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2, 1–8.

RST Instruments Ltd. (2020). *Vibrating Wire*

Piezometer Instruction Manual.

Soil Instruments Limited. (2022). *User Manual Heavy Duty Vibrating Wire Piezometer*