

INTERPRETASI TEKANAN AIR PORI SEBAGAI DASAR PEMELIHARAAN PIEZOMETER DI BENDUNGAN SERMO

Faris Setiawan^{1,*}, Ignatius Sriyana²

¹*Teknik Pengairan Ahli Muda, Kementerian PUPR,*

Jl. Pattimura No. 20 Kebayoran Baru, Jakarta, Indonesia 12110

²*Professor Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275*

^{*}*Email : farisetiawan@gmail.com*

Abstract

Pore water pressure readings (piezometer readings) produce data that must be interpreted before being used for further analysis. This process is very influential on the results of the analysis because in the piezometer reading there is the possibility of anomalies due to potential delays or lags or errors in readings. The purpose and objective of this research is to provide an alternative approach to dam safety instrumentation inventory in order to be able to arrange maintenance work properly, effective and efficient, in conditions of limited budget can be used as a standard in making decisions in prioritizing piezometer maintenance. Several piezometer data processing methods can use techniques, including : interpretation of pore water pressure patterns; correlation simulation of pore pressure values and flow line plots. The results of the research on the piezometer at the Sermo Dam can be distinguished between conditions that have good pore water pressure readings and the opposite condition, with a ratio of 71,43% and 28,57%.

Kata kunci : *pore water pressure; piezometer evaluation; maintenance priority*

PENDAHULUAN

Instrumentasi bendungan digunakan untuk memperoleh data mengenai perilaku bendungan terutama pada saat konstruksi, pengisian awal, dan saat pengoperasian air waduk, serta untuk menilai dan memeriksa keamanan bendungan pada tubuh bendungan dan sekitarnya. Kegiatan instrumentasi bendungan umumnya meliputi pemasangan alat - alat pemantau, melakukan pengukuran atau pembacaan instrumentasi terpasang serta melakukan evaluasi dan analisis terhadap keamanan bendungan (US Army Corps of Engineers, 2004). Salah satu jenis instrumentasi

geoteknik, yaitu *piezometer* yang digunakan untuk mengukur tekanan pori di dalam timbunan maupun pondasi bendungan (Zhani et al., 2015), dengan prinsip kerja pada *element porous (piezometer tip)* yang ditanam di dalam tanah, sehingga air dapat masuk melalui dinding pori dari mata *piezometer* (Central Water Commission, 2018). Tekanan air pori penting untuk diamati pada bendungan urugan karena tekanan air pori berpengaruh secara langsung pada stabilitas bendungan, serta dapat memprediksi secara tidak langsung posisi garis *phreatic* (garis muka air rembesan) yang digunakan untuk

memprediksi kemampuan filter pada tubuh bendungan (Santosa et al., 1998).

Keamanan bendungan terhadap tekanan air pori, dilakukan dengan pemasangan instrumentasi pada tubuh bendungan (Claydon et al., 1990). Hasil penelitian Subiyanti et al. (2011) menjelaskan bahwa tekanan air pori dapat mempengaruhi kestabilan lereng, ketidakstabilan lereng dapat diakibatkan oleh kondisi rembesan di dalam tubuh bendungan yang dipicu oleh tekanan air pori (Huda et al., 2019). Tekanan air pori yang tinggi merupakan salah satu faktor yang dapat mengakibatkan terjadinya rembesan yang memicu terjadinya *piping* dan mengganggu kestabilan bendungan (Foster et al., 2000). Peningkatan tekanan air pori disebabkan oleh fluktuasi elevasi muka air waduk dan mempengaruhi kondisi rembesan (Sari et al., 2016). Perilaku bendungan yang mengarah terhadap potensi penurunan keamanan dapat dimonitor dengan instrumentasi yang dipasang di bendungan dengan memastikan memiliki hasil interpretasi yang baik (Prasad dan Dixit, 2019). Proses pengolahan data terdiri dari konversi data bacaan lapangan menjadi suatu nilai teknik tertentu dan dipresentasikan dalam bentuk grafik bacaan dengan riwayat waktu secara rutin agar dapat dipakai untuk analisis dan interpretasi (Najoan dan Soetjiono, 2004).

Instrumentasi yang terpasang di bendungan memiliki kerentanan rusak atau tidak berfungsi akibat adanya pergerakan ataupun perubahan fisik di

daerah lokasi tempat instrumentasi terpasang. Instrumentasi yang mengalami kerusakan tersebut perlu dikaji secara seksama, bila data instrumentasi yang rusak tersebut masih diperlukan maka perlu diupayakan penggantian bila masih memungkinkan atau diupayakan pemasangan instrumentasi yang sejenis untuk pengamatan selanjutnya di tempat yang sama atau bila tidak mungkin maka perlu direncanakan pemasangan instrumentasi di tempat yang bisa dianggap bisa mewakili kondisi bacaan yang diinginkan dalam pengamatan (Ditjen SDA, 2003). Dalam rangka memberikan alternatif inventarisasi instrumentasi keamanan bendungan untuk dapat menyusun kegiatan pemeliharaan yang tepat, efektif dan efisien, sehingga dalam kondisi keterbatasan anggaran dapat digunakan sebagai standar dalam pengambilan keputusan dalam memprioritaskan kegiatan pemeliharaan bendungan (Indra dan Legono, 2005). Diperlukan kegiatan pemeliharaan *piezometer*, sehingga hasil pembacaan tekanan air pori pada bendungan dapat diinterpretasikan, kemudian dapat diketahui bagaimana keadaan tekanan air pori bendungan secara rutin (ICOLD, 1980).

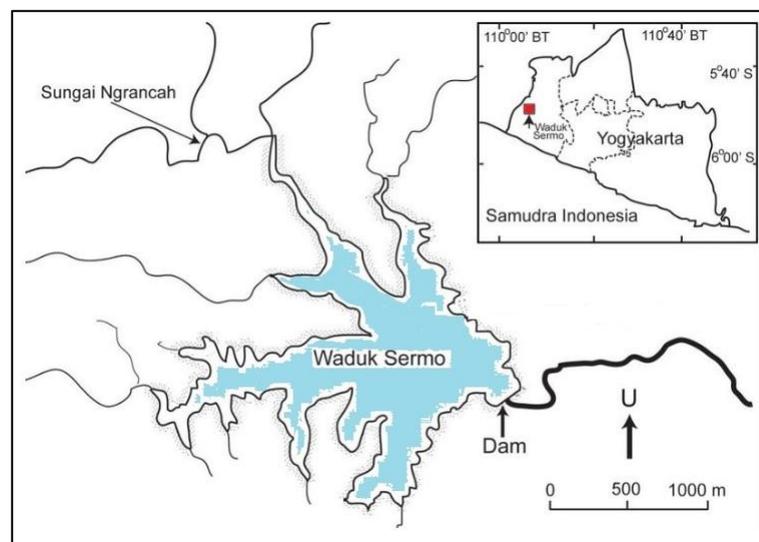
Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hasil interpretasi tekanan air pori dari bacaan *piezometer* dengan mengkombinasikan 3 (tiga) metode pengolahan data *piezometer* yang dapat difungsikan untuk saling koreksi satu sama lain. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar validasi terhadap hasil kegiatan inspeksi

piezometer secara visual, sehingga dalam proses inventarisasi serta kegiatan pemeliharaan instrumentasi *piezometer* mendapatkan urutan prioritas yang tepat, efektif dan efisien.

METODE PENELITIAN

Bendungan Sermo terletak di Sungai Ngrancah, tepatnya di Dusun Sermo, Desa Hargowilis, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, yang berjarak ± 35 km dari Kota Yogyakarta dan ± 6

km dari pusat Wates Kulon Progo, sesuai dengan Gambar 1. Bendungan ini dibangun pada bulan April 1994 dan selesai pada bulan Oktober 1996, merupakan jenis bendungan urugan batu dengan inti berupa tanah lempung. Secara garis besar seperti pada Gambar 2, zona pada Bendungan Sermo terdiri dari : zona inti kedap air (1), zona filter (2), zona transisi (3), zona urugan batuan (4), zona rip-rap (5).



Gambar 1. Lokasi Bendungan Sermo (Habibie et al., 1998)

Data *piezometer* yang ditinjau adalah bagian inti tubuh bendungan pada potongan 12, potongan 15, dan potongan 18 (BBWS Serayu Opak, 2018), dengan ruang lingkup sebagai berikut:

- a. Terhadap alat yang tidak berfungsi dan terdapat kendala, baik yang tidak ada data sama sekali maupun yang dominan tidak ada hasil pembacaan, maka dalam penelitian ini tidak digunakan;
- b. Berdasarkan kondisi tersebut, maka ketersediaan data dari Bulan Januari

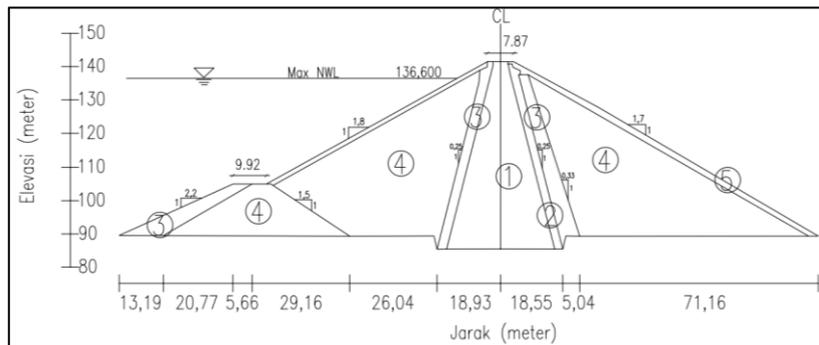
2004 s/d Bulan Desember 2017. Pada Gambar 3 disajikan *piezometer core* (PC) dengan rincian sebagai berikut:

1. Potongan 12 : PC-1, PC-2, PC-3, PC-4, PC-5, PC-6;
2. Potongan 15 : PC-7, PC-8, PC-11, PC-12, PC-13, PC-15, PC-16;
3. Potongan 18 : PC-17, PC-18, PC-19, PC-20, PC-21, PC-22, PC-25, PC-26.

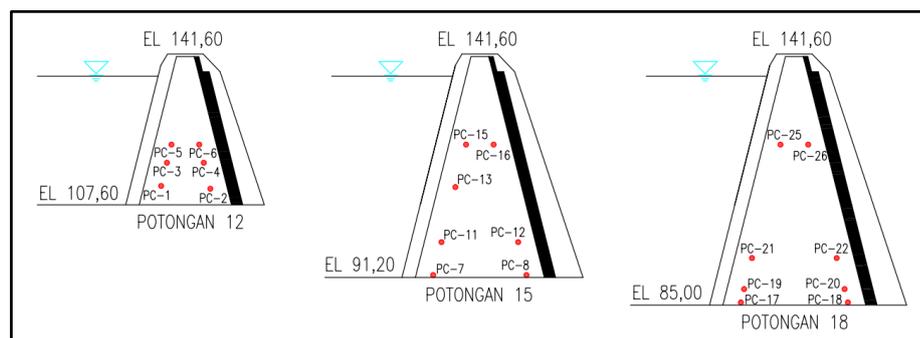
- c. Waktu yang ditinjau dalam penelitian ini ditentukan pada elevasi muka air waduk (MAW)

maksimal terjadi pada Tahun 2004 dan elevasi muka air waduk (MAW)

minimal terjadi pada Tahun 2006.



Gambar 2. Tipikal penampang Bendungan Sermo (BBWS Serayu Opak, 1994)



Gambar 3. Tata letak *piezometer*

Interpretasi data pada pembacaan tekanan air pori (pembacaan *piezometer*) pada penelitian ini akan digunakan beberapa teknik (FEMA, 2015), antara lain :

- a. Interpretasi Pola Tekanan Air Pori *Ground water head* (GWH) atau tinggi energi yang merupakan elevasi *piezometer* didapatkan dengan menambahkan elevasi pemasangan dan nilai tekanan dari *piezometer*. Pola atau *trend* dari tekanan air pori dapat dikaitkan dan didasarkan pada beberapa kondisi, antara lain:
 1. Tekanan air pori berbanding lurus dengan elevasi muka air waduk, maka tiap fluktuasi muka

air waduk dapat dikaitkan dengan tekanan *piezometer*;

2. Untuk tekanan *piezometer* yang memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan elevasi muka air waduk, terdapat potensi keterlambatan atau jeda (*time lag*) pada puncak tekanan air pori dan puncak muka air waduk terhadap waktu tertentu;
 3. Untuk *piezometer* yang memiliki posisi lebih jauh dari *reservoir* umumnya memiliki tekanan air pori yang lebih rendah dan *time lag* yang lebih lama.
- b. Simulasi Korelasi Nilai Tekanan Pori

Data pembacaan *piezometer* diplot terhadap elevasi muka air waduk untuk mengetahui tingkat korelasi. Korelasi akan dinilai berdasarkan

koefisien korelasi (Sugiyono, 2007) seperti pada Tabel 1, dengan rincian sebagai berikut :

Tabel 1. Pedoman koefisien korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,8 – 1	Sangat Tinggi
0,6 – 0,8	Tinggi
0,4 – 0,6	Cukup
0,2 – 0,4	Rendah
0 – 0,2	Sangat Rendah

c. *Plot Flow Line*

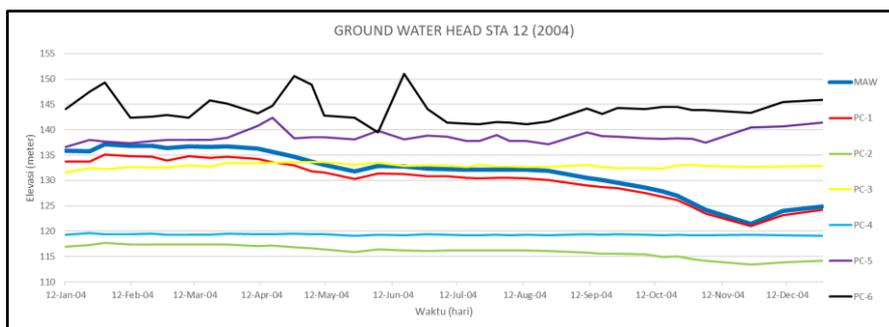
Garis aliran paling atas, disebut juga garis *phreatic* atau *top flow line*. Rembesan pada bendungan terjadi di bawah garis ini. Garis ini juga merupakan batas daerah yang jenuh dan yang kering atau jenuh sebagian serta memiliki bentuk berbeda – beda. Penggambaran digunakan untuk memastikan garis melalui jalur sesuai dengan nilai tekanan air pori berdasarkan hasil bacaan. Nilai reading kemudian dianalisis untuk mendapatkan data tinggi energi yang dapat diplotkan pada gambar melintang bendungan, sehingga didapatkan titik-titik tinggi yang

disebut elevasi *piezometer*. Terhadap *piezometer* dengan nilai tekanan air pori yang tidak wajar dan tidak linier dengan *piezometer* di sekitarnya, akan dilakukan eliminasi terhadap *piezometer* tersebut (Sari et al, 2016).

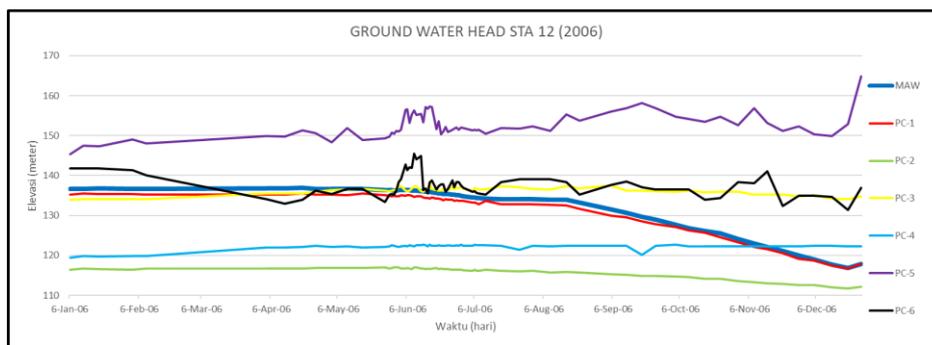
HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Interpretasi Pola Tekanan Air Pori

Hasil bacaan tekanan dari seluruh *piezometer* memiliki atau terletak lebih rendah daripada muka air waduk. Pada grafik disajikan elevasi muka air waduk (MAW) dan nilai *ground water head* (GWH) untuk memudahkan interpretasi.



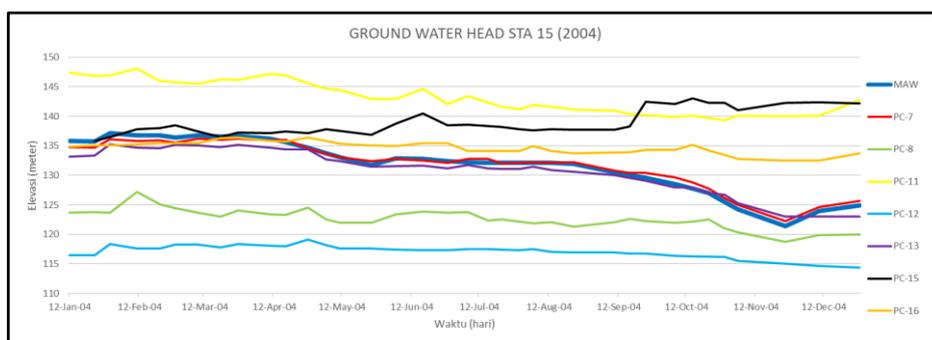
Gambar 4. Interpretasi pola data *piezometer* tahun 2004 pada potongan 12



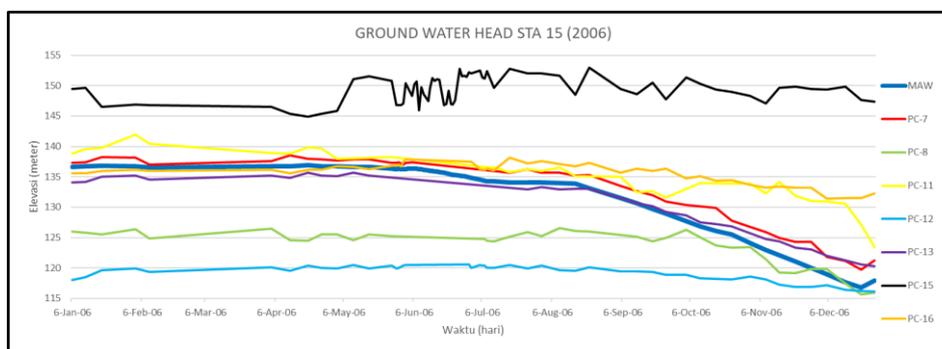
Gambar 5. Interpretasi pola data *piezometer* tahun 2006 pada potongan 12

Pada *piezometer* potongan 12 untuk Tahun 2004 sesuai Gambar 4 dan Tahun 2006 sesuai Gambar 5, interpretasi pola tekanan air pori untuk *piezometer* PC-1 dan PC-2 dominan memiliki pola yang seragam dengan fluktuasi muka air waduk. *Piezometer* lainnya dominan memiliki

pola tidak seragam dengan muka air waduk, PC-3 dan PC-4 cenderung tidak terpengaruh dengan fluktuasi muka air waduk, sedangkan PC-5 dan PC-6 mengalami banyak perubahan data yang mendadak dengan selisih hasil pembacaan terlalu jauh.



Gambar 6. Interpretasi pola data *piezometer* tahun 2004 pada potongan 15



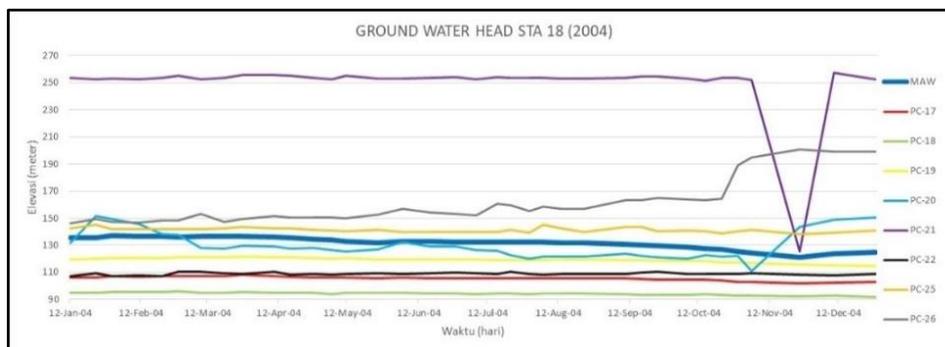
Gambar 7. Interpretasi pola data *piezometer* tahun 2006 pada potongan 15

Pada *piezometer* potongan 15 untuk Tahun 2004 sesuai Gambar 6 dan Tahun 2006 sesuai Gambar 7, interpretasi

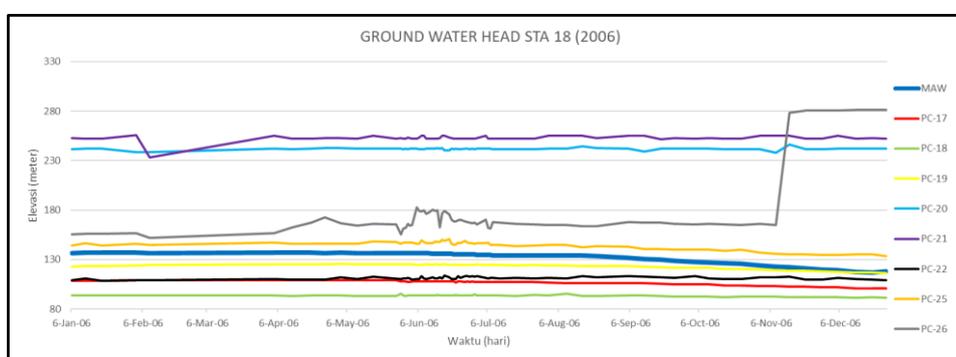
pola tekanan air pori untuk *piezometer* PC-7, PC-8, PC-11, PC-12, PC-13 dan PC-16 dominan memiliki pola yang seragam

dengan fluktuasi muka air waduk, meskipun pada Tahun 2006 terdapat data yang mengalami perubahan data mendadak. PC-15 untuk Tahun 2004 dan Tahun 2006 dominan memiliki pola tidak

seragam dengan muka air waduk dan mengalami banyak perubahan data yang mendadak dengan selisih hasil pembacaan terlalu jauh.



Gambar 8. Interpretasi pola data *piezometer* tahun 2004 pada potongan 18



Gambar 9. Interpretasi pola data *piezometer* tahun 2006 pada potongan 18

Pada *piezometer* potongan 18 untuk Tahun 2004 sesuai Gambar 8 dan Tahun 2006 sesuai Gambar 9, interpretasi pola tekanan air pori untuk *piezometer* PC-17, PC-18, PC-19, PC-22 dan PC-25 dominan memiliki pola yang seragam dengan fluktuasi muka air waduk pada Tahun 2004 dan Tahun 2006, meskipun terdapat sedikit data yang mengalami perubahan data mendadak. PC-20 dan PC-26 untuk Tahun 2004 dan Tahun 2006 dominan memiliki pola tidak seragam dengan muka air waduk dan mengalami banyak perubahan data yang mendadak

dengan selisih hasil pembacaan terlalu jauh. PC-21 memiliki pola yang seragam pada Tahun 2004 dan sebaliknya pada Tahun 2006.

b. Simulasi Korelasi Nilai Tekanan Pori Terhadap Muka Air Waduk (MAW)

Berdasarkan hasil interpretasi pola tekanan air pori, selanjutnya akan disajikan hasil korelasi linear data pembacaan tekanan terhadap muka air waduk untuk masing – masing *piezometer* pada setiap potongan seperti pada Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 2. Simulasi korelasi nilai tekanan pori pada potongan 12

<i>Piezometer</i>	MAW Maksimal (Tahun 2004)		MAW Minimal (Tahun 2006)	
	Nilai R	Tingkat Hubungan	Nilai R	Tingkat Hubungan
PC-1	0.9993	Sangat Tinggi	0.9896	Sangat Tinggi
PC-2	0.9962	Sangat Tinggi	0.9934	Sangat Tinggi
PC-3	0.0574	Sangat Rendah	0.4169	Cukup
PC-4	0.5195	Cukup	0.1300	Sangat Rendah
PC-5	0.2941	Rendah	0.2961	Rendah
PC-6	0.0775	Sangat Rendah	0.3388	Rendah

Tabel 3. Simulasi korelasi nilai tekanan pori pada potongan 15

<i>Piezometer</i>	MAW Maksimal (Tahun 2004)		MAW Minimal (Tahun 2006)	
	Nilai R	Tingkat Hubungan	Nilai R	Nilai R
PC-7	0.9954	Sangat Tinggi	0.9848	Sangat Tinggi
PC-8	0.8394	Sangat Tinggi	0.8284	Sangat Tinggi
PC-11	0.8220	Sangat Tinggi	0.7438	Tinggi
PC-12	0.8431	Sangat Tinggi	0.8870	Sangat Tinggi
PC-13	0.9846	Sangat Tinggi	0.9949	Sangat Tinggi
PC-15	0.6808	Tinggi	0.0141	Sangat Rendah
PC-16	0.5270	Cukup	0.7743	Tinggi

Tabel 4. Simulasi korelasi nilai tekanan pori pada potongan 18

<i>Piezometer</i>	MAW Maksimal (Tahun 2004)		MAW Minimal (Tahun 2006)	
	Nilai R	Tingkat Hubungan	Nilai R	Nilai R
PC-17	0.8268	Sangat Tinggi	0.9790	Sangat Tinggi
PC-18	0.8496	Sangat Tinggi	0.8583	Sangat Tinggi
PC-19	0.9499	Sangat Tinggi	0.9792	Sangat Tinggi
PC-20	0.1330	Sangat Rendah	0.0640	Sangat Rendah
PC-21	0.4313	Cukup	0.0837	Sangat Rendah
PC-22	0.0173	Sangat Rendah	0.0954	Sangat Rendah
PC-25	0.5233	Cukup	0.9419	Sangat Tinggi
PC-26	0.9202	Sangat Tinggi	0.7954	Tinggi

c. *Plot Flow Line*

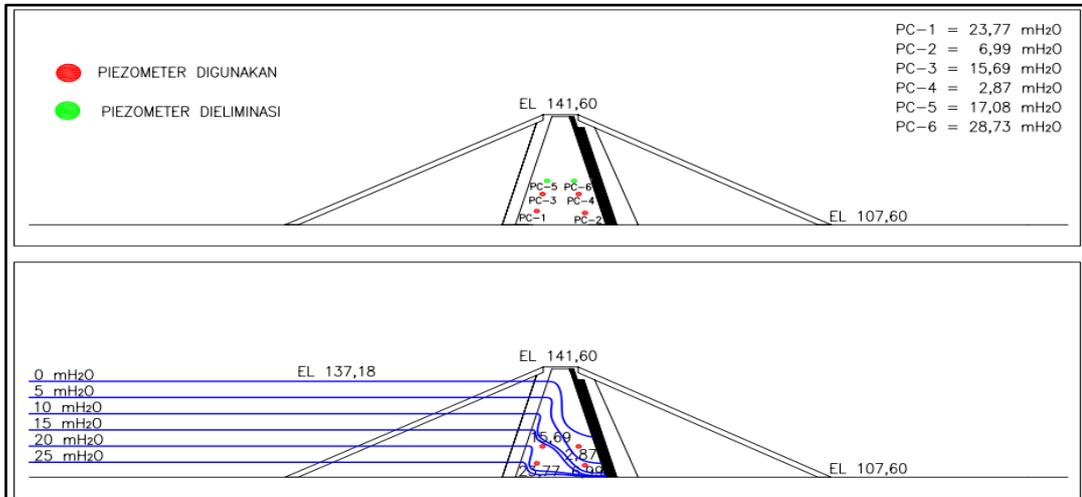
Plot Flow Line dilakukan secara manual terhadap data pada kondisi muka air waduk maksimal dan muka air waduk

minimal. Eliminasi dilakukan terhadap *piezometer* yang memiliki nilai tekanan air pori yang tidak wajar dan tidak linier dengan dengan *piezometer* lainnya saat

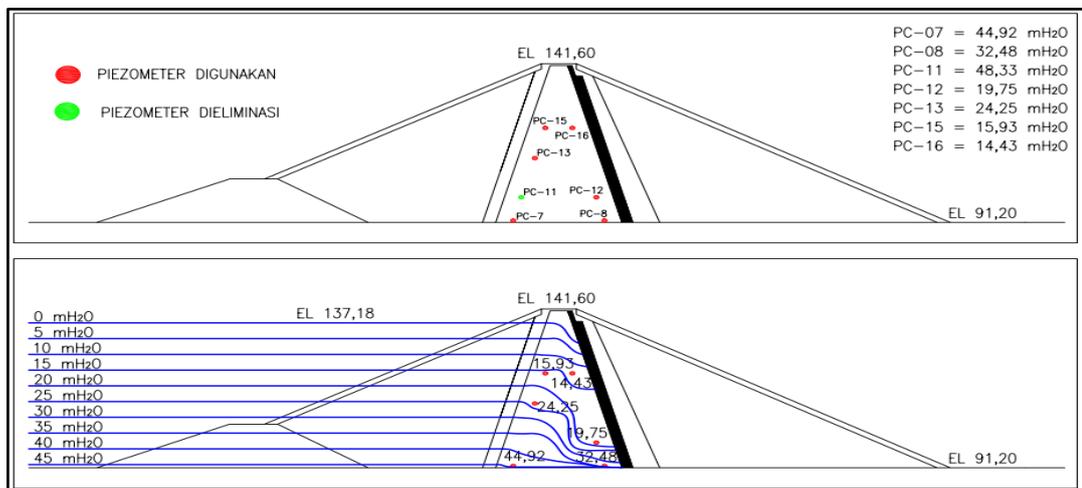
dilakukan penggambaran distribusi tekanan air pori, dengan rincian sebagai berikut :

1. Elevasi Muka Air Waduk Maksimal
Elevasi Muka Air Waduk Maksimal terjadi pada 30 Januari 2004 dengan ketinggian 137,18. Pada Gambar 10, untuk potongan 12 dilakukan eliminasi terhadap PC-5 dan PC-6. Pada Gambar 11, untuk potongan 15 dilakukan eliminasi terhadap PC-11. Pada Gambar 12, untuk potongan 18 dilakukan eliminasi terhadap PC-17, PC-20, PC-21, PC-25 dan PC-26.

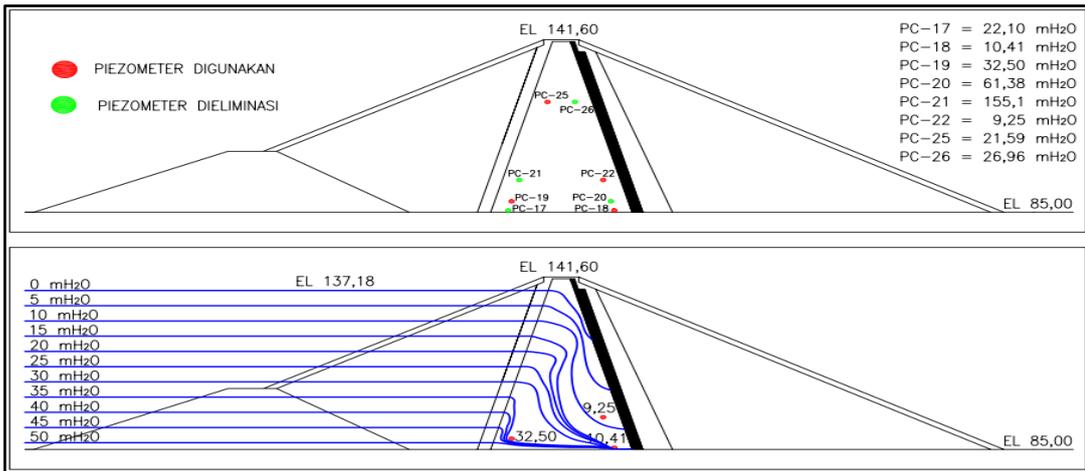
2. Elevasi Muka Air Waduk Minimal
Elevasi Muka Air Waduk Minimal setelah mencapai Elevasi Muka Air Waduk Maksimal terjadi pada 20 Desember 2006 dengan ketinggian 116,79. Pada Gambar 13, untuk potongan 12 dilakukan eliminasi terhadap PC-3, PC-4, PC-5 dan PC-6. Pada Gambar 14, untuk potongan 15 dilakukan eliminasi terhadap PC-11, PC-15 dan PC-16. Pada Gambar 15, untuk potongan 18 dilakukan eliminasi terhadap PC-17, PC-18, PC-20, PC-21, PC-25 dan PC-26.



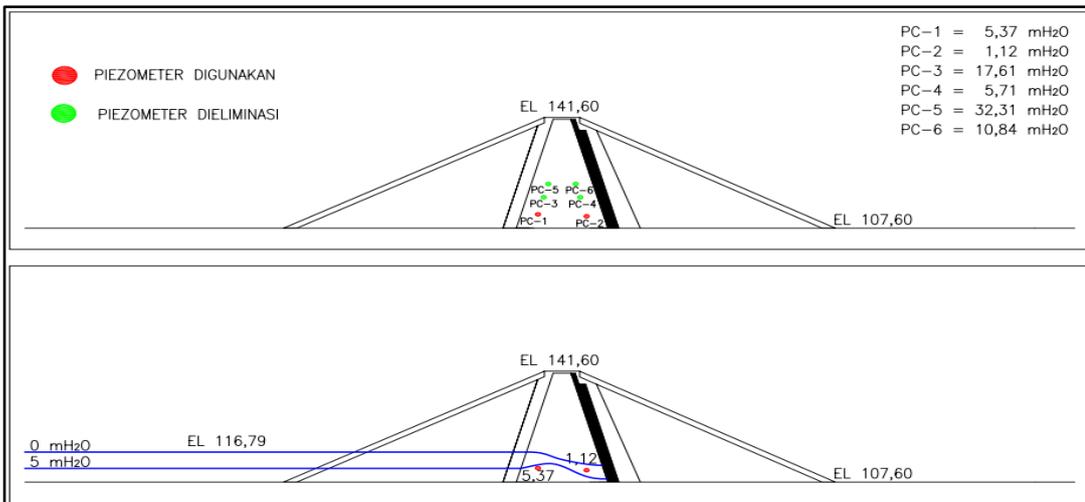
Gambar 10. *Flow line* kondisi MAW maksimal pada potongan 12



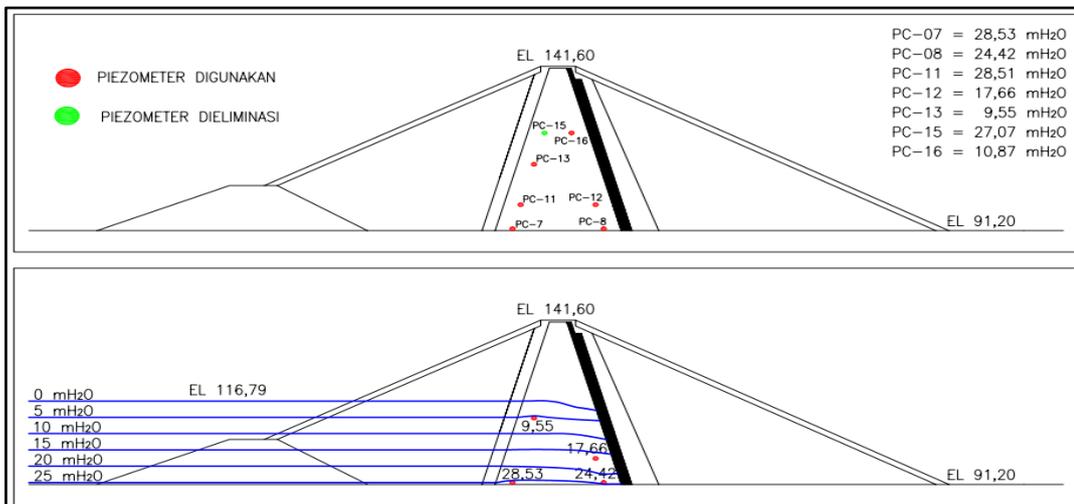
Gambar 11. *Flow line* kondisi MAW maksimal pada potongan 15



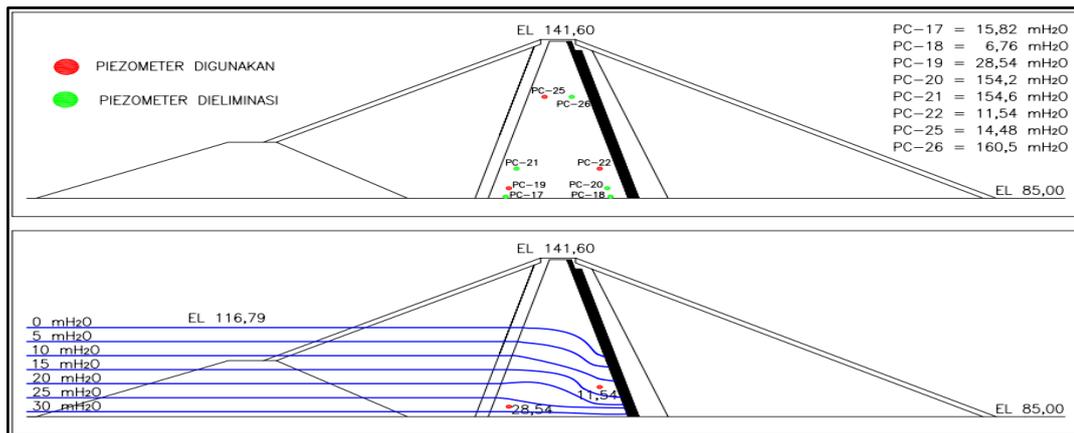
Gambar 12. *Flow line* kondisi MAW maksimal pada potongan 18



Gambar 13. *Flow line* kondisi MAW minimal pada potongan 12



Gambar 14. *Flow line* kondisi MAW minimal pada potongan 15



Gambar 15. *Flow line* kondisi MAW minimal pada potongan 18

Rekapitulasi hasil dari beberapa metode pengolahan data *piezometer* untuk Tahun 2004 berdasarkan Tabel 5 dan Tahun 2006 berdasarkan Tabel 6, pada potongan 12 terdapat 3 buah *piezometer* yang perlu dilakukan evaluasi lebih lanjut, yaitu PC-5 dan PC-6 yang memiliki hasil bacaan tekanan air pori yang tidak

memenuhi semua metode pada MAW maksimal dan MAW minimal, serta PC-4 hanya pada kondisi MAW minimal. *Piezometer* yang memiliki hasil bacaan tekanan air pori yang baik berdasarkan semua metode yaitu PC-1 dan PC-2, serta untuk PC-3 juga termasuk meskipun tidak semua metode terpenuhi.

Tabel 5. Rekapitulasi metode pengolahan data *piezometer* tahun 2004 pada potongan 12

<i>Piezometer</i>	Interpretasi Pola	Korelasi Hubungan	<i>Plot Flow Line</i>
PC-1	Seragam	Sangat Tinggi	Digunakan
PC-2	Seragam	Sangat Tinggi	Digunakan
PC-3	Tidak Seragam	Sangat Rendah	Digunakan
PC-4	Tidak Seragam	Cukup	Digunakan
PC-5	Tidak Seragam	Rendah	Eliminasi
PC-6	Tidak Seragam	Sangat Rendah	Eliminasi

Tabel 6. Rekapitulasi metode pengolahan data *piezometer* tahun 2006 pada potongan 12

<i>Piezometer</i>	Interpretasi Pola	Korelasi Hubungan	<i>Plot Flow Line</i>
PC-1	Seragam	Sangat Tinggi	Digunakan
PC-2	Seragam	Sangat Tinggi	Digunakan
PC-3	Tidak Seragam	Cukup	Eliminasi
PC-4	Tidak Seragam	Sangat Rendah	Eliminasi
PC-5	Tidak Seragam	Rendah	Eliminasi
PC-6	Tidak Seragam	Rendah	Eliminasi

Pada potongan 15 berdasarkan Tabel 7 untuk Tahun 2004 dan Tabel 8 untuk Tahun 2006, terdapat 1 buah *piezometer* yang perlu dilakukan evaluasi lebih lanjut, yaitu PC-15 yang memiliki hasil bacaan tekanan air pori yang tidak memenuhi semua metode pada MAW minimal. *Piezometer* yang memiliki hasil bacaan tekanan air pori yang baik berdasarkan semua metode yaitu PC-7, PC-8, PC-12 dan PC-13, serta untuk PC-11 dan PC-16 juga termasuk meskipun tidak semua metode terpenuhi.

Pada potongan 18 berdasarkan Tabel 9 untuk Tahun 2004 dan Tabel 10

untuk Tahun 2006, terdapat 2 buah *piezometer* yang perlu dilakukan evaluasi lebih lanjut, yaitu PC-20 yang memiliki hasil bacaan tekanan air pori yang tidak memenuhi semua metode pada MAW maksimal dan MAW minimal, serta PC-21 hanya pada kondisi MAW minimal. *Piezometer* yang memiliki hasil bacaan tekanan air pori yang baik berdasarkan semua metode yaitu PC-19, serta untuk PC-17, PC-18, PC-22, PC-15 dan PC-26 juga termasuk meskipun tidak semua metode terpenuhi.

Tabel 7. Rekapitulasi metode pengolahan data *piezometer* tahun 2004 pada potongan 15

<i>Piezometer</i>	Interpretasi Pola	Korelasi Hubungan	<i>Plot Flow Line</i>
PC-7	Seragam	Sangat Tinggi	Digunakan
PC-8	Seragam	Sangat Tinggi	Digunakan
PC-11	Seragam	Sangat Tinggi	Eliminasi
PC-12	Seragam	Sangat Tinggi	Digunakan
PC-13	Seragam	Sangat Tinggi	Digunakan
PC-15	Tidak Seragam	Tinggi	Digunakan
PC-16	Seragam	Cukup	Digunakan

Tabel 8. Rekapitulasi metode pengolahan data *piezometer* tahun 2006 pada potongan 15

<i>Piezometer</i>	Interpretasi Pola	Korelasi Hubungan	<i>Plot Flow Line</i>
PC-7	Seragam	Sangat Tinggi	Digunakan
PC-8	Seragam	Sangat Tinggi	Digunakan
PC-11	Seragam	Tinggi	Eliminasi
PC-12	Seragam	Sangat Tinggi	Digunakan
PC-13	Seragam	Sangat Tinggi	Digunakan
PC-15	Tidak Seragam	Sangat Rendah	Eliminasi
PC-16	Seragam	Tinggi	Eliminasi

Tabel 9. Rekapitulasi metode pengolahan data *piezometer* tahun 2004 pada potongan 18

<i>Piezometer</i>	Interpretasi Pola	Korelasi Hubungan	<i>Plot Flow Line</i>
PC-17	Seragam	Sangat Tinggi	Eliminasi
PC-18	Seragam	Sangat Tinggi	Digunakan
PC-19	Seragam	Sangat Tinggi	Digunakan
PC-20	Tidak Seragam	Sangat Rendah	Eliminasi
PC-21	Seragam	Cukup	Eliminasi
PC-22	Seragam	Sangat Rendah	Digunakan
PC-25	Seragam	Cukup	Eliminasi
PC-26	Tidak Seragam	Sangat Tinggi	Eliminasi

Tabel 10. Rekapitulasi metode pengolahan data *piezometer* tahun 2006 pada potongan 18

<i>Piezometer</i>	Interpretasi Pola	Korelasi Hubungan	<i>Plot Flow Line</i>
PC-17	Seragam	Sangat Tinggi	Eliminasi
PC-18	Seragam	Sangat Tinggi	Eliminasi
PC-19	Seragam	Sangat Tinggi	Digunakan
PC-20	Tidak Seragam	Sangat Rendah	Eliminasi
PC-21	Tidak Seragam	Sangat Rendah	Eliminasi
PC-22	Seragam	Sangat Rendah	Digunakan
PC-25	Seragam	Sangat Tinggi	Eliminasi
PC-26	Tidak Seragam	Tinggi	Eliminasi

SIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi dari 3 (tiga) metode pengolahan data *piezometer* dengan jumlah total 21 buah, sebanyak 15 buah *piezometer* memiliki kondisi hasil bacaan tekanan air pori yang baik atau sebesar 71,43%, sedangkan 6 buah *piezometer* atau sebesar 28,57% perlu dilakukan evaluasi lebih lanjut sebelum mendapatkan prioritas pemeliharaan, karena dimungkinkan terdapat anomali akibat potensi keterlambatan atau jeda (*time lag*) maupun potensi terjadi kesalahan saat pencatatan atau faktor lainnya. Pada penelitian selanjutnya agar metode *plot flow line* ditinjau untuk seluruh kondisi muka air waduk, dapat digunakan pendekatan simulasi program

komputer dengan cara melakukan tinjauan pada titik koordinat yang sama sesuai dengan pemasangan *piezometer* di lapangan, sehingga nilai tekanan air pori dapat dibandingkan. Kondisi tersebut dapat dilakukan apabila tersedia data parameter tanah terbaru yang dapat mewakili kondisi lapangan saat ini sebagai dasar validasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada pihak – pihak yang terlibat dalam penyusunan jurnal ini, khususnya BBWS Serayu Opak yang telah menyediakan data. Kami juga sampaikan terima kasih kepada pihak yang telah menyediakan panduan dan fasilitas untuk publikasi jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- US Army Corps of Engineers, 2004, *General Design and Construction Consideration for Earth and Rockfill Dams*. Washington DC: US Army Corps of Engineers.
- Zhani, R. F., Djamaluddin, Bakri, H., 2015, *Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Data VWP (Vibrating Wire Piezometer) pada PT. Newmont Nusa Tenggara Barat*. Jurnal Geomine, Volume 2, Agustus 2015, 100–107. <https://doi.org/10.33536/jg.v2i1.31>.
- Central Water Commission, 2018, *Manual for Rehabilitation of Large Dams*. New Delhi: India Government.
- Santosa, B., Suprpto, H., & Suryadi, H.S., 1998, *Mekanika Tanah Lanjutan*. Jakarta : Gunadarma, 1-3; 15-29; 45; 50-53 p.
- Claydon, J.R., Stevens, I.M., Moffat, A.I.B., Tyler, N., 1990, *The Embankment Dam*. In Six Conference of The British Dam Society. Nottingham, England. <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/book/10.1680/ted.16477>.
- Subiyanti, H., Rifa'i, A., & Jayadi, R., 2011, *Analisis Kelongsoran Lereng Akibat Pengaruh Tekanan Air Pori di Saluran Induk Kalibawang Kulonprogo*. Semesta Teknika, 14(1), 15–25. <https://doi.org/10.18196/st.v14i1.566>.
- Huda, A. L., Wardani, S. P. R., & Suharyanto, 2019, *Evaluasi Tekanan Air Pori dan Rembesan pada Bendungan Panohan*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia, 4(2), 102-111. <http://dx.doi.org/10.33366/rekabuana.v4i2.1372>.
- Foster, M., Fell, R., & Spannagle, M., 2000, *The Statistics Of Embankment Dam Failures And Accidents*. Kanada : Canadian Geotechnical Journal, 37(5), 1000-1024. <https://doi.org/10.1139/t00-030>.
- Sari, U. C., Wardani, S. P. R., Suharyanto, & Partono, W., 2016, *Analisis Tekanan Air Pori Menggunakan Metode Elemen Hingga Dengan Pemodelan Mohr-Coulomb pada Plaxis*. Konferensi Nasional Teknik Sipil 10, 675–683. ISBN: 978-602-60286-0-0.
- Prasad, R., & Dixit, M., 2019, *Instrumentation and Monitoring of Dams and Reservoirs*. International Journal of Engineering and Applied Sciences, 6(10), 63-67.
- Najoan, T. F., & Soetjiono, C., 2004, *Pedoman Instrumentasi Tubuh Bendungan Tipe Urugan dan Tanggul*. Jakarta : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2003, *Pedoman Operasi, Pemeliharaan dan Pengamatan Bendungan (Bagian 3 : Sistem Instrumentasi dan Pemantauan)*.

- Indra, E. A., & Legono, D., 2005, *Evaluasi Hasil Pengamatan Instrumentasi dan Prioritas Pemeliharaannya Sebagai Bagian dari Pengelolaan Keamanan Bendungan : Studi Kasus Bendungan Sermo*. PhD Thesis. Universitas Gadjah Mada. <https://doi.org/10.32491/jii.v15i2.63>.
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 1994, *Laporan Ringkas Waduk Sermo*. BBWS Serayu Opak, Yogyakarta.
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2018, *Laporan Operasi dan Pemeliharaan Bendungan Sermo*. BBWS Serayu Opak, Yogyakarta.
- Federal Emergency Management Agency, 2015, *Evaluation and Monitoring of Seepage and Internal Erosion*. Interagency Committee on Dam Safety (ICODS) FEMA P-1032.
- Sugiyono, 2007, *Statistika untuk Penelitian*. Alfabeta Bandung ISBN : 978-979-8433-10-8.
- ICOLD, 1980, *Deterioration of Dams And Reservoirs. Examples And Their Analysis*. ICOLD, Paris. Balkema, Rotterdam.
- Habibie, S. A., Djumanto, & Rustadi, 2015, *Penggunaan Otolit Untuk Penentuan Umur Dan Waktu Pemijahan Ikan Red Devil, *Amphilophus Labiatus* [Günther, 1864] Di Waduk Sermo*, Yogyakarta. *Jurnal Iktiologi Indonesia*, 15(2):87-98.