

# KAJIAN KINERJA DINDING PENGARAH REMBESAN DAN TES PERMEABILITAS DIAFRAGMA WALL PADA HILIR BENDUNGAN TUGU

Rizki Dwi Baskara<sup>1,2,\*</sup>, Mochamad Solikin<sup>1</sup>, Sri Sunarjono<sup>1</sup>, Senja Rum Harnaeni<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jalan A.Yani Tromol Pos 1, Pabelan, Surakarta, 57102

<sup>2</sup>PT Wijaya Karya (Persero) Tbk

<sup>\*</sup>Correspondent Author: s100190015@student.ums.ac.id

## **Abstract**

*On the inside of the dam, there is a seamless instrumentation. V-Notch is one of the standard dam safety instruments used to measure water dam seepage discharge. The porous soil and high permeability around the V-Notch cause water seepage to not be directed properly to the V-Notch. If it is not directed properly then the erosion of the reed or piping cannot be detected. So we need a construction design of the barrier wall for collecting water seepage, namely the wall diaphragm wall. The purpose of this research is to analyze the material, evaluate the performance, and compare the diaphragm wall. The method used is falling head test, monitoring observation well (OW), direct observation method when working. The results of the downstream wall diaphragm material permeability test using the fall head test show that the largest permeability coefficient value is  $1.3 \times 10^{-5}$  cm/sec. where this value has reached a low coefficient of permeability. Results Downstream wall diaphragm performance based on groundwater level at OW.8 < from OW.7. Downstream diaphragm wall or water seepage collection barrier can be said to work well. From the analysis method, the diaphragm wall is easier to work than using the Clay heap method. This is proven because the diaphragm wall method can be carried out in the rainy season and dry season. From the time calculation analysis, it is known that it is faster to use the diaphragm method with an estimated working time of 4 months 2 days using 1 tool. As for the estimated length of time working with Clay soil piles is 7.5 months using 1.5 tools. Based on the calculation of the cost of drilling plastic concrete is more expensive than the Clay heap method. The cost of diaphragm wall is Rp. 9,581,703,257.38. and the cost of Clay is Rp. 8,742,490,556.95.*

**Keywords:** permeability, diaphragm walls, clay soil, observation well

## **PENDAHULUAN**

Pengaturan sungai pada dasarnya adalah upaya untuk memperoleh manfaat sebesar-besarnya dan mengurangi kerusakan atau kerugian sampai sekecil-kecilnya akibat fenomena alam terkait dengan perilaku sungai (Budiyanto, 2018). Fenomena

alam terkait perilaku sungai seperti banjir. Peristiwa banjir merupakan akibat dari berbagai sebab, misalnya hujan deras dan lama serta kondisi daerah pengaliran sungai yang tidak mampu menahan air hujan, akan menimbulkan aliran permukaan yang besar (Muchamad & Udiyanto, 2017).

Sehingga diperlukan bendungan yang merupakan konstruksi yang dibangun untuk menahan laju aliran air pada sungai dan membentuk sebuah tampungan air yang biasa disebut waduk.

Bendungan memiliki banyak fungsi selain untuk mencegah banjir antara lain, sebagai pembangkit listrik tenaga air, untuk menstabilkan aliran air atau irigasi, untuk bangunan pengalihan (Mulyono, 2017). Bangunan bendungan tak hanya terdiri dari tubuh bendungan saja melainkan ada beberapa komponen penunjang seperti pondasi, pintu air, bangunan pelimpah, system pengelak (bendungan pengelak dan saluran pengelak), dan waduk (Sosrodarsono, 2002).

Pada bagian dalam bendungan, ada yang dinamakan instrumentasi. Instrumentasi ini berfungsi untuk mengetahui perilaku tubuh dan fondasi bendungan yang dipasang di dalamnya. Tujuan pemasangan instrumentasi ada empat macam yaitu untuk analitis keamanan bendungan, perilaku jangka panjang, evaluasi legal, pengembangan dan verifikasi desain yang akan datang (Arsyad, 2017). *V-Notch* merupakan salah satu instrumen standar keselamatan bendungan yang digunakan untuk mengukur debit rembesan air di bendungan (Sudaryanto, 2017).

Rembesan air ini seharusnya mengarah ke *V-Notch* agar debit rembesan air dapat diukur. Namun karena tanah berporus dan permeabilitas tinggi maka rembesan air tidak dapat terarah dengan baik ke *V-*

*Notch*. Jika tidak terarah dengan baik maka erosi buluh atau piping tidak dapat terdeteksi. Erosi buluh atau *piping* adalah peristiwa amblesan dasar sungai yang disertai dengan keluarnya aliran air dan butir-butir tanah pada bagian hilir bendung (Arifin & Budiyanto, 2021). Kondisi aliran air ini jika hanya berlangsung selama beberapa jam maka tidak menimbulkan kerusakan berarti. Namun, apabila hal ini berlangsung secara intensif, kerusakan di infrastruktur bendung maupun di infrastruktur lain di sekitarnya akan terjadi. Meskipun bendungan memiliki banyak manfaat untuk memenuhi berbagai kebutuhan bagi manusia, namun juga menyimpan potensi bahaya yang sangat besar (Purwanto; et al., 2017).

Pada lokasi Bendungan Tugu diketahui memiliki tanah dengan jenis koluvial dan alluvial yang berupa campuran lempung, pasir, kerikil, kerakal dan boulder dari andesit dan breksi, sifat lepas-lepas dan tidak terkonsolidasi yang umumnya tidak stabil. Dengan kata lain sifat permeabilitasnya tinggi dan berporus. Kondisi tanah berporus dikarenakan besarnya endapan aluvial dan pelapukan batuan (Sudaryanto, 2014). Berdasarkan hasil investigasi geologi yang telah dilaksanakan setelah galian pondasi core trench menunjukkan bahwa pondasi cofferdam hilir terletak pada batuan lapuk kuat, alluvial sungai dan kollovial sama seperti kondisi tanah di bagian as dam. Berdasarkan desain perencanaan diketahui bahwa untuk memperbaiki pondasi di

cofferdam hilir perlu dilakukan perbaikan kondisi tanah dengan timbunan *Clay* (Sudaryanto, 2016a).

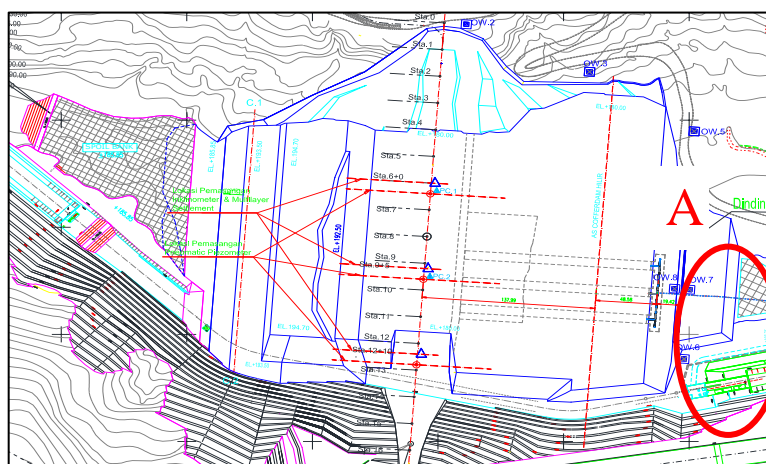
Supaya rembesan air dapat terarah ke *V-Notch*, maka diperlukan suatu rancangan jenis konstruksi dinding halang pengumpul rembesan air tertentu yang sesuai dengan kondisi tanah atau batuan dengan cara memperbaiki tanah atau batuan. Konstruksi ini sendiri harus memiliki permeabilitas yang rendah sehingga dapat menjadi konstruksi dinding pengumpul rembesan air supaya rembesan air dapat terarah dan terkumpul di *V-Notch*. Sehingga seberapa besar rembesan air yang terjadi pada bendungan dapat terkontrol dengan baik. Alternatif konstruksi dinding pengumpul

rembesan air ini dapat berupa perbaikan dengan timbunan *Clay* atau dinding *diafragma wall* hilir menggunakan beton plastis. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan timbunan *Clay* dengan *diafragma wall* hilir sebagai konstruksi dinding halang pengumpul rembesan air di proyek Bendungan Tugu Trenggalek.

## METODE PENELITIAN

### Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilaksanakan di Proyek Pembangunan Bendungan Tugu Trenggalek yang dilaksanakan oleh WIKA-APTA KSO. Lokasi alternative *diafragma wall* atau alternative timbunan *Clay* di tunjukkan pada notasi A terletak pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Lokasi *Diafragma wall* atau Timbunan *Clay*

### Spesifikasi Material

Spesifikasi material dinding pengarah rembesan antara timbunan *Clay* dengan *diafragma wall* terdapat beberapa perbedaan. Spesifikasi material tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

### Analisis karakteristik material

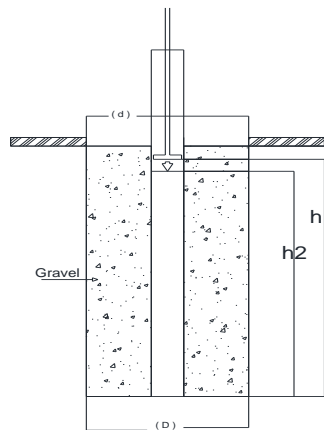
Pekerjaan uji permeabilitas ini menggunakan *falling head test*. Uji ini dilakukan di lapangan pada dinding *diafragma wall* yang telah jadi. Pekerjaan uji permeabilitas di lapangan dijelaskan sebagai berikut.

- a. Beton plastis dibor sedalam 90cm menggunakan alat bor dengan mata bor diameter 6"
- b. Lubang hasil bor diisi dengan air
- c. Pipa PVC pervorated dengan diameter 4" dimasukkan kedalam lubang dan diletakkan secara horizontal
- d. Siapkan timba berisi air, kemudian masukkan selang pada timba dan lubang agar terhubung sehingga air ditimba mengalir ke lubang untuk mencapai titik jenuh.
- e. Penjenuhan dilakukan mulai sore sampai pagi ketika alat berat di sekitar lokasi sudah berhenti beraktifitas

f. Ketika sudah pagi selang diambil  
 Kemudian pembacaan 90 menit sebanyak 3 kali setiap 30 menit. Selanjutnya diukur menggunakan mistar ukur, terjadi penurunan berapa milimeter dan dicatat penurunan (Sudaryanto, 2016a). Pengujian permeabilitas ini dilakukan berdasarkan teknik pengujian bendungan tugu. Dengan alat ini perbedaan tinggi muka air pada pipa diukur, mulai dari  $H_0$  = ketinggian air awal sampai  $H_t$  = ketinggian air setelah (t).

Tabel 1. Spesifikasi Material

No.	Karakter	Timbunan Clay	Diafragma wall
1	Permeabilitas	$<1 \times 10^{-5}$	$<1 \times 10^{-5}$
2	Jenis Material	Clay	1. Semen PC 2. Bentonite
3	Metode	Timbunan perlayer	Borepile d = 80cm
4	Uji	Falling head test	Falling head test



Gambar 2. Pengujian Permeabilitas

$$KH = \frac{\pi d^2}{11D} \frac{1}{t} \ln \frac{h1}{h2} \quad (1)$$

$KH$  adalah permeabilitas dalam cm/dtk,  $d$  adalah diameter lubang (cm),  $t$  adalah waktu turun (detik),  $h1$  adalah ketinggian air awal (cm),  $h2$  adalah ketinggian air setelah (detik) oleh Verplancke, 1990 (Sudaryanto, 2016b). Besarnya efektivitas ditunjukkan oleh besarnya perubahan kelulusan air sebelum dan setelah dilakukan pemasangan *diafragma wall*,

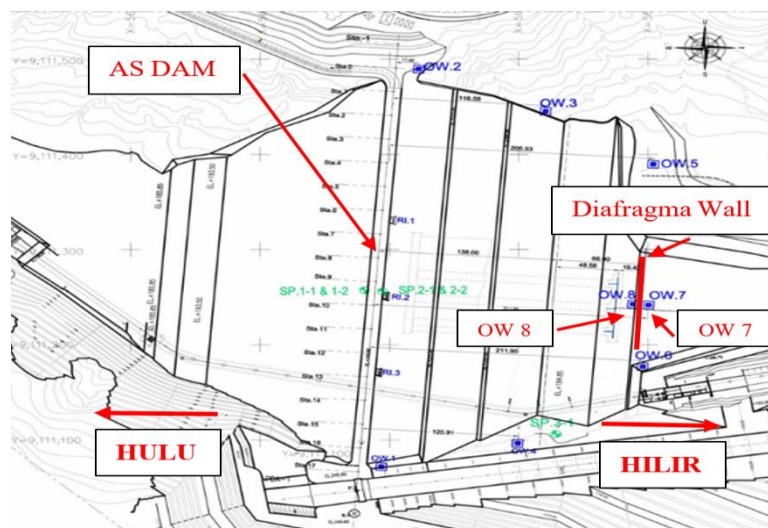
$$Efs = 100 - (Kg/K) * 100 \quad (2)$$

Rumus efektivitas *diafragma wall* (SDA, 2005), sementara penentuan efektivitas dihitung dengan menggunakan Rumus 2. Efs adalah Efektivitas *diafragma wall* dalam persen (%),  $Kg$  adalah Kelulusan air sesudah di *diafragma wall* (beton plastis), dan  $K$  adalah Kelulusan air sebelum di *diafragma wall* (koluvial).

### Evaluasi Kinerja *Diafragma wall* Dengan *Observation Well*

Lokasi pemasangan *observation well* (OW) 7 dan 8 berada dekat *diafragma wall* hilir seperti pada Gambar 3. Untuk lokasi OW 8 ada sebelum *diafragma wall* hilir dan lokasi OW 7 berada di bagian setelah *diafragma*

*well*. Fungsi pemasangan *Observation Well* 7 dan 8 adalah untuk mengetahui perbedaan tinggi muka air pada masing-masing *Observation Well*. Ketika ada perbedaan muka air pada OW 7 dan OW 8 maka *diafragma wall* hilir atau dinding pengarah rembesan bisa dikatakan berhasil.



Gambar 3. Lokasi *Observation Well* 7 dan *Observation Well* 8

Langkah pekerjaan pembuatan *observation well* atau sumur pengamatan dijelaskan sebagai berikut:

- a. Pertama membuat lubang bor di lokasi pekerjaan yang dimaksud.

- b. Kemudian pabrikasi pipa 11/4 inch dan dilubangi menjadi pipa *pervorated*.
- c. Kemudian bungkus dengan kain *geotextile* sebagai selubung penyaring pipa *pervorated*.
- d. Siapkan pasir yang telah disaring dan telah dicuci bersih.
- e. Bersihkan lubang bor dengan cek level muka air tanah dan kedalaman lubang bor serta ukur dengan meteran lalu catat untuk menentukan kedalaman sumur observasi
- f. Pemberian pasir saring  $\pm 0,5m$  sebagai filter, kemudian masukkan pipa observation well yang sudah di pabrikasi kedalam lubang
- g. Masukkan pasir saring sebagai filter sampai permukaan tanah dan sisakan 0,5m untuk di grouting bentonite semen.
- h. Kemudian lindungi observation well dengan *cover protective*.

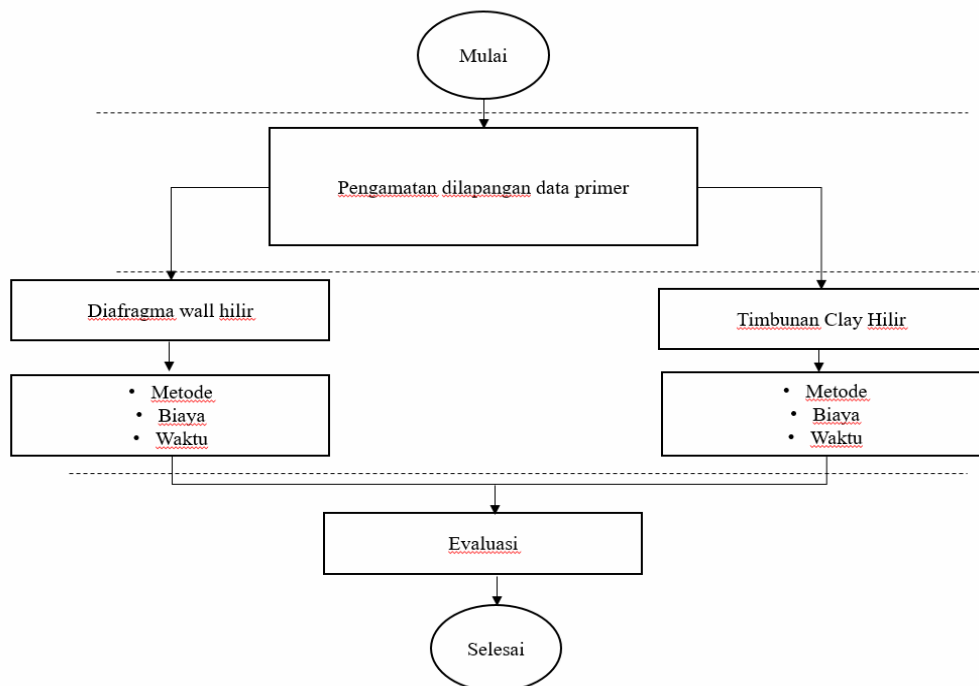
Pada tahap ini dilakukan evaluasi kinerja *diafragma wall*. Pengukuran yang dilakukan yakni pengukuran tinggi muka air pada observation well. Sumur pengamatan untuk mengukur elevasi muka air tanah di sekitar bendungan. *Observation well* termasuk salah satu instrumen standar keselamatan bendungan (PT Gistec Prima, 2021a). Pekerjaan pembacaan observation well menggunakan Dip Meter atau Water Level Meter. Fungsi peralatan ini adalah mengetahui hasil bacaan tinggi muka air tanah secara manual. Tujuan penggunaan peralatan ini adalah untuk memonitoring tinggi

muka air tanah secara berkala agar didapatkan data yang factual di lapangan. Tahapan-tahapan pembacaan dijelaskan sebagai berikut (PT Gistec Prima, 2021b) :

- a. Periksa kondisi Dip meter sebelum melakukan pengukuran, Pemeriksaan meliputi kondisi fisik dan daya batrai alat baca sendiri dan hindarkan gulungan kabel terkena air pada saat pelaksanaan di lapangan pastikan dip meter bekerja dengan baik.
- b. Masukkan probe dip meter ke dalam pipa *Observation Well* (sumur observasi) atau Open Standpipe Piezometer secara perlahan dan hindarkan kabel dari gesekan terhadap ujung pipa.
- c. Catat pada log book Posisi tinggi muka air yang terbaca oleh dipmeter
- d. Setelah pembacaan tutup kembali end cap open standpipe.
- e. Setelah pembacaan Rapikan kembali Dip Meter dan bersihkan.
- f. Hasil Pembacaan Data *Observation Well*

### **Perbandingan Metode, Waktu dan Biaya antara *Diafragma wall* dan Timbunan *Clay***

Tahap ini merupakan tahap perbandingan metode *diafragma wall* dan timbunan *Clay* mengenai metode, waktu dan biaya. Sehingga dapat diperoleh hasil mana yang mungkin dapat digunakan pada proyek Bendungan Tugu Trenggalek.



Gambar 4. Langkah Perbandingan *Diafragma wall Hilir* dan *Timbunan Clay*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Uji Permeabilitas *Diafragma wall Hilir*

Uji permeabilitas material *diafragma wall* hilir berdasarkan nilai koefisien permeabilitas dilakukan dengan menggunakan *falling head test*. Terdapat 30 titik uji permeabilitas yang telah dilakukan. Hasil uji permeabilitas *diafragma wall* hilir dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan hasil uji permeabilitas material *diafragma wall* hilir menggunakan *falling head test* menunjukkan bahwa nilai koefisien permeabilitas masih berada di range  $1 \times 10^{-5}$  cm/dtk. Klasifikasi permeabilitas tanah menurut Umland dan O'Neil (Lembaga penelitian tanah, 1979) disajikan pada pada Tabel 3. (Reynold, W.D., 2002) menyatakan bahwa kisaran K (permeabilitas) yang dapat diukur dengan falling head soil core

method didapatkan nilai K antara  $10^{-4}$  -  $10^{-7}$  cm/detik. Nilai kelas sangat lambat adalah  $< 0.125$  cm/jam.

Bila nilai permeabilitas kelas sangat lambat di rubah ke cm/dtk maka bernilai  $3,472 \times 10^{-5}$  cm/dtk. dinding *diafragma wall* hilir bendungan tugu berada pada kelas sangat lambat karena berada pada permeabilitas dibawah  $< 0,125$  cm jam<sup>-1</sup> atau  $3,472 \times 10^{-5}$  cm/dtk. *diafragma wall* hilir atau bangunan pengarah rembesan pada bendungan tugu yang terbesar memiliki permeabilitas  $1,3 \times 10^{-5}$  cm/dtk sehingga air rembesan pada bendungan tertahan di dinding *diafragma wall* hilir. Berdasarkan Tabel 2. Menunjukkan bahwa hasil nilai permeabilitas beton plastis menggunakan *falling head test* termasuk dalam kategori *Clay*. Hasil tersebut didukung oleh (Widagdo,

2018) yang menyatakan bahwa tanah lempung atau *Clay* itu sendiri memiliki kisaran nilai permeabilitas ( $k$ )  $10^{-5}$  cm/dtk.

Menurut Widagdo pada Gambar 5, bahan timbunan dengan fungsi

utama pencegah rembesan air digunakan untuk inti/core merupakan bahan yang bersifat kedap air. Bahan yang bersifat kedap air tersebut adalah tanah lempung (*Clay*).

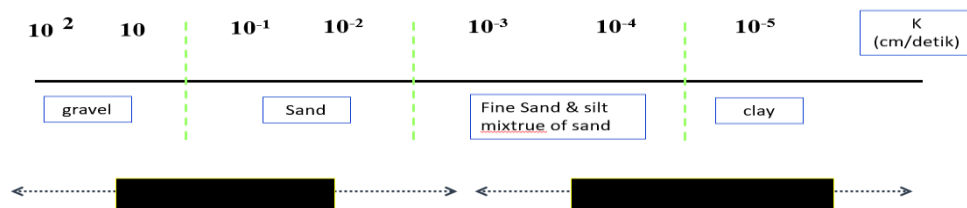
Tabel 2. Kelas Permeabilitas

No.	Nilai Permeabilitas Beton Plastik	Status	Nilai Permeabilitas Kelas Sangat Lambat (cm/dtk)	Keterangan
1	$7.94 \times 10^{-6}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
2	$1.13 \times 10^{-5}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
3	$8.19 \times 10^{-6}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
4	$1.09 \times 10^{-5}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
5	$8.85 \times 10^{-5}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
6	$1.05 \times 10^{-5}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
7	$7.23 \times 10^{-6}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
8	$1.15 \times 10^{-5}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
9	$1.15 \times 10^{-5}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
10	$8.17 \times 10^{-6}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
11	$1.17 \times 10^{-5}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
12	$1.3 \times 10^{-5}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
13	$7.4 \times 10^{-6}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
14	$1.13 \times 10^{-5}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
15	$1.13 \times 10^{-5}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
16	$1.13 \times 10^{-5}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
17	$7.94 \times 10^{-5}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
18	$1.13 \times 10^{-5}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
19	$1.13 \times 10^{-5}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
20	$1.13 \times 10^{-5}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
21	$7.33 \times 10^{-6}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
22	$1.21 \times 10^{-5}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
23	$1.17 \times 10^{-5}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
24	$9.11 \times 10^{-6}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
25	$1.01 \times 10^{-5}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
26	$1.02 \times 10^{-5}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
27	$7.29 \times 10^{-6}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
28	$1.17 \times 10^{-5}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
29	$1.14 \times 10^{-5}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat
30	$8.67 \times 10^{-6}$ cm/sec	<	$3,472 \times 10^{-5}$ cm/sec	Sangat Lambat



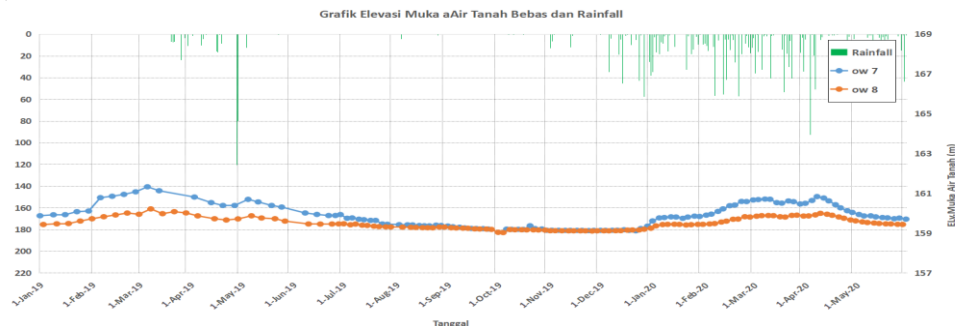
Tabel 3. Klarifikasi permeabilitas tanah menurut Umland dan O'Neil

KELAS	PERMEABILITAS cm jam <sup>-1</sup>
Sangat Lambat	<0,125
Lambat	0,125-0,50
Agak Lambat	0,50-2,00
Sedang	2,00-6,25
Agak Cepat	6,25-12,5
Cepat	12,5-25,00
Sangat Cepat	>25,00



Gambar 5. Nilai Permeabilitas Tanah

### Evaluasi Kinerja *Diafragma wall* Hilir Berdasarkan Muka Air *Observation Well* (OW)



Gambar 6. Grafik Elevasi Muka Air Tanah Bebas dan Rainfall

Berdasarkan Gambar 6. terdapat perbedaan tinggi muka air yang terjadi pada saat adanya penghalang yang memiliki sifat kedap air. Pada OW 8 dan OW 7 menunjukkan hal yang sama yaitu perbedaan tinggi muka air, dimana diantara kedua OW tersebut terdapat penghalang yang bersifat kedap air. Dengan hasil seperti itu dapat disimpulkan dinding halang dapat berfungsi dengan baik. (Sudaryanto, 2020). Berdasarkan Tabel 4. kinerja Muka Air Tanah (MAT)

pada OW.8 lebih rendah dari OW.7 meskipun lokasinya berdekatan. Hal ini terjadi dikarenakan adanya *diafragma wall* pada bagian hulu dinding dipasang pipa penyalur air rembesan yang mengarah ke *V-Notch* sehingga muka air tanah hulu dinding akan menyesuaikan dengan posisi elevasi pipa penyalur.

Kinerja *diafragma wall* hilir atau dinding halang pengumpul rembesan air dapat dikatakan bekerja dengan baik jika terjadi perbedaan muka air

tanah pada OW 8 dan OW 7. Dimana pada saat musim penghujan tinggi muka air OW 7 lebih tinggi daripada OW 8. Tinggi muka air pada OW 8

lebih rendah dari pada OW 7 dikarenakan terdapat pipa pervorated yang digunakan untuk menyalurkan air rembesan ke pipa *V-Notch*.

Tabel 4. Klasifikasi Perbedaan Tinggi Muka Air pada OW 7 dan OW 8

No.	Kondisi	Status	Keterangan
1	Kemarau	OW 8 = OW 7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pondasi bendungan aman</li> <li>• Volume in dan Volume out dalam kondisi sama</li> </ul>
2	Hujan	OW 8 < OW 7 OW 8 > OW 7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kondisi aman</li> <li>• Rembesan Tinggi <i>V-Notch</i> ada penyumbatan</li> <li>• Terjadi kegagalan pondasi bendungan dikarenakan pipa <i>V-Notch</i> tidak mampu mengalirkan volume air di <i>V-Notch</i></li> </ul>

Sumber : (Sudaryanto, 2020)

Klasifikasi permeabilitas tanah menurut Uhland dan O'Neil dalam (Lembaga penelitian tanah, 1979) disajikan pada pada Tabel. 2. (Reynold, W. D., 2002) menyatakan bahwa kisaran K (permeabilitas) yang dapat diukur dengan falling head soil core method didapatkan nilai K antara  $10^{-4}$  -  $10^{-7}$  cm/dtk.

*Diafragma wall* dengan ketebalan 0,5 m dapat menahan rembesan air (Mansuri et al., 2014). Melihat dari hal tersebut, *diafragma wall* hilir atau bangunan pengarah rembesan pada bendungan tugu dapat disimpulkan dapat mengarahkan rembesan air untuk melewati pipa pervorated dan menuju saluran *V-Notch*. Karena tebal *diafragma wall* hilir atau bangunan pengarah rembesan pada bendungan tugu adalah 0,8 m.

Berdasarkan tabel klarifikasi permeabilitas tanah menurut Uhland dan O'neil dalam LPT, dinding *diafragma wall* hilir bendungan tugu berada pada kelas sangat lambat karena

berada pada permeabilitas dibawah  $<0,125 \text{ cm jam}^{-1}$  atau  $3,472 \times 10^{-5}$  cm/dtk. *diafragma wall* hilir atau bangunan pengarah rembesan pada bendungan tugu yang terbesar memiliki permeabilitas  $1,3 \times 10^{-5}$  cm/dtk sehingga air rembesan pada bendungan ketika mengalir ke hilir akan memilih jalur yang tercepat yaitu melewati pipa pervorated dan menuju ke saluran *V-Notch*.

### **Perbandingan Metode, Waktu dan Biaya Dinding Halang Pengumpul Rembesan Dengan *Diafragma wall* dan Tanah Clay**

#### ***Perbandingan Metode***

Disetiap metode pengerjaan dinding pengarah rembesan terdapat kelebihan dan kekurangan pada masing-masing metode. Perbandingan metode dinding pengarah rembesan antara menggunakan metode *diafragma wall* dengan metode timbunan Clay dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Metode

No	Keterangan	METODE		
		<i>Diafragma wall</i>	Timbunan <i>Clay</i>	
1	Persiapan Lahan	Lebar bidang kerja Waktu penyelesaian	10m x 100m = 1000m <sup>2</sup> . 1-2 hari.	26m x 100m = 2600m <sup>2</sup> . 5-6 hari.
2	Pengerjaan	Musim	Dapat dilakukan di musim hujan dan musim kemarau.	Lebih bagus di lakukan pada saat musim kemarau daripada musim hujan karena kadar air +3 s.d +5% dari OMC (kadar air maksimum) (tergantung hasil trial). jika di lakukan saat musim penghujan, maka kadar air terlalu berlebih. Sehingga memiliki kesulitan angkutan dumptruck ketika memasuki area jalan menjadi amblas, material yang digali oleh excavator menjadi lengket. Saat menggunakan material <i>Clay</i> , lebih mudah dilakukan saat musim kemarau karena kadar air <i>Clay</i> dapat di treatment dengan penyiraman.
3	Pekerjaan awal	Jumlah Alat	Pada saat pengerjaan bisa dilakukan dengan alat lebih dari 1.	Pada saat pengerjaan semakin kebawah luas lahan semakin sempit, sehingga semakin susah untuk menggunakan alat lebih dari 1.
4	Material	Sumber Material	Batching Plant	Borrow area
		Volume Material	Volume tercukupi karena pabrikan ada	Volume yang tersedia tidak tercukupi
		Jenis Material	1. Semen PC 2. Bentonite	Tanah <i>Clay</i>
		Harga Material	Sesuai harga pabrikan	Material gratis (didalam area pembebasan) dan Material murah (diluar area pembebasan)
5	Pengujian		30 titik pengujian dari 187 titik pengeboran	Perlayer 30cm terdapat 3 pengujian

Berdasarkan hasil data di atas, terdapat kelebihan dan kekurangan dalam menggunakan masing-masing metode tersebut. Kondisi saat pekerjaan akan mulai ini berada di kondisi musim penghujan dan membutuhkan *stockpile*.

a. Jika menggunakan metode *diafragma wall* dengan alat *borepile*

1. Lahan yang akan dikerjakan terlebih dahulu dibersihkan dan diratakan menggunakan excavator dan bulldozer. Untuk pembersihan dan perataan ini hanya memerlukan estimasi waktu sekitar 1-2 hari, karena luasan yang dibutuhkan hanya

alat borepile yaitu sekitar 10 m x 100m = 1000m<sup>2</sup>.

2. Pengeboran dilakukan menggunakan alat berat *Rotary Drilling Machine* yang sebelumnya telah dipersiapkan. Pengeboran dengan alat tersebut dapat dilakukan di musim kemarau maupun di musim penghujan. Pengeboran ini dapat dilakukan dengan alat lebih dari 1 karena space yang dibutuhkan tidak begitu luas.
  3. Pemasangan casing dilakukan pada saat awal pekerjaan dengan fungsi untuk menahan tanah yang berada di permukaan agar tidak jatuh ke lubang bor.
  4. Material Beton dan Bentonite ini banyak sekali tersedia di pabrikan. Beton + Bentonite (beton plastis) merupakan adukan beton segar dengan bahan tambah bentonite yang berfungsi untuk menambah plastisitas beton dan dapat mengurangi rembesan terhadap air. Pembuatan beton + bentonite (beton plastis) dilakukan pada *batching plan* seperti pembuatan beton segar konvensional.
  5. Pengujian dilakukan dengan jumlah 30 titik pengujian dari 137 titik pengeboran *diafragma wall* hilir.
- b. Jika menggunakan metode timbunan *Clay* :
1. Pengangkutan material stripping dengan menggunakan excavator dan dump truck ke arah stockpile yang telah disediakan sebagai area buangan material galian.

Pembersihan area timbunan seluas 26m x 100m = 2600m<sup>2</sup>. Area pembersihan ini lebih luas di bagian atasnya agar ketika menggali bisa mendapatkan kemiringan yang aman sampai di titik galian terbawah. Estimasi pembersihan bisa mencapai waktu kurang lebih 1-2 minggu

2. Dalam mencari material, harus dicari borrow area *Clay* yang secara spesifikasi teknis nilai permeabilitasnya masuk. Material contact *Clay* bertujuan untuk merekatkan antara material tanah dan pondasi (batuan atau concrete). Kadar air +3 s.d +5% dari OMC (kadar air maksimum) (tergantung hasil *trial*). jika dilakukan saat musim penghujan, maka kadar air terlalu berlebih. Sehingga memiliki kesulitan angkutan dumptruck ketika memasuki area jalan menjadi amblas, material yang digali oleh excavator menjadi lengket. Saat menggunakan material *Clay*, lebih mudah dilakukan saat musim kemarau karena kadar air *Clay* dapat di *treatment* dengan penyiraman. Pada saat pengerjaan semakin ke bawah luas lahan semakin sempit, sehingga semakin susah untuk menggunakan alat lebih dari 1.
3. Pemasangan contact *Clay* dilakukan di awal pekerjaan timbunan bertujuan untuk merekatkan antara material tanah dan pondasi (batuan atau concrete).

4. Pada saat pekerjaan timbunan tidak melebihi dari kadar air dari OMC (kadar air maksimum). Hal ini dilakukan agar material bisa dipadatkan dengan vibro roller. Jika kadar air tinggi maka proses penimbunan tidak dapat dilakukan karena material *Clay* akan lengket pada vibro roller. Selain itu, untuk proses penghamparan dan pemadatan dari titik terbawah akan sulit dilakukan dengan banyak alat berat seperti *excavator*, *dozer*, *vibro roller*, *water tank* dan *dumptruck*. Karena lokasi tersebut sangat sempit, sehingga diperlukan traffic manajemen yang bagus.
5. Uji permeabilitas ini dilakukan perlayer atau per 30cm dengan pengujian perlayer dilakukan 3 titik pengujian pada bagian samping kanan, tengah dan samping kiri.

#### ***Perbandingan Analisis Waktu***

Di setiap metode pengerjaan dinding pengarah rembesan terdapat perbedaan waktu penyelesaian pada masing-masing metode. Perbandingan analisis waktu penyelesaian dinding pengarah rembesan antara menggunakan metode *diafragma wall* dengan metode timbunan *Clay* dapat dilihat pada Tabel 6.

Berdasarkan Tabel 6, terdapat perbedaan waktu dalam menyelesaikan pekerjaan dinding pengarah rembesan air. Jika menggunakan metode *diafragma wall* dengan alat borepile estimasi waktu untuk menyelesaikan

pekerjaan sekitar kurang lebih 4 bulan dengan menggunakan jumlah 1 alat. Sedangkan jika menggunakan metode timbunan *Clay*, estimasi waktu untuk menyelesaikan pekerjaan ini maksimal sekitar kurang lebih 7,5 bulan dengan menggunakan 1,5 alat.

Untuk pekerjaan menggunakan metode timbunan tanah *Clay*, pada bagian atas dapat menggunakan 2 alat namun pada saat pekerjaan semakin dalam yaitu di kedalaman setengahnya kurang mendukung untuk menggunakan alat lebih dari 1 dikarenakan lubang galian yang sempit. Sehingga *space* bekerja dengan menggunakan alat banyak kurang direkomendasikan semakin ke bagian bawah. Sedangkan untuk pekerjaan *diafragma wall* dengan borepile dapat menggunakan alat lebih banyak dikarenakan *space* bekerja lebih luas. Melihat dari hal tersebut maka dalam kecepatan menyelesaikan pekerjaan lebih cepat menggunakan metode *diafragma wall* dengan *borepile*.

#### ***Perbandingan Analisis Biaya***

Di setiap metode pengerjaan dinding pengarah rembesan terdapat perbedaan biaya pada masing-masing metode. Perbandingan analisis biaya dinding pengarah rembesan antara menggunakan metode *diafragma wall* dengan metode timbunan *Clay* dapat dilihat pada Tabel 7. dan Tabel 8. Berdasarkan Tabel 7 dan Tabel 8 terdapat perbedaan biaya diantara kedua metode tersebut.

Jika menggunakan metode *diafragma wall* dengan borepile maka pekerjaan tersebut menghabiskan biaya

sebesar Rp. 9,581,703,257.38. sedangkan jika menggunakan metode timbunan tanah *Clay* maka akan menghabiskan biaya sebesar Rp. 8,742,490,556.95. Melihat dari hal tersebut maka dalam besaran biaya

dalam menyelesaikan pekerjaan lebih mahal biaya menggunakan metode *diafragma wall* dengan borepile. Sedangkan biaya menggunakan metode timbunan *Clay* lebih murah.

Tabel 6. Perbandingan Waktu

No.	Metode	Alat	Jumlah Alat	Produktivitas	Waktu
1	<i>Diafragma wall</i>	<i>Borepile</i> <i>Truck Mixer</i>	1	34,28 m/hari	4 bulan 2 hari
2	Timbunan <i>Clay</i>	<i>Excavator</i> <i>Vibro roller</i> <i>Dozer</i> <i>Water tank</i> <i>Dumptruck</i>	1,5	Timbunan : 392 m <sup>3</sup> /hari Galian : 1056 m <sup>3</sup> /hari	7,5 bulan

Tabel 7. Analisa Biaya *Diafragma wall*

No	Item Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
1	Pemboran Tanah Untuk <i>Borepile</i> dia. 80 cm	3822.00	m	1,687,998.00	6,451,528,356.00
2	Pemboran Batu untuk <i>Borepile</i> dia. 80 cm	364.00	m	2,801,696.00	1,019,817,344.00
3	Beton Plastis	1097.94	m <sup>3</sup>	1,914,108.00	2,101,575,737.52
4	Urugan Kembali (dipadatkan)	758.23	m <sup>3</sup>	11,582.00	8,781,819.86
Total Biaya (Rp)					9,581,703,257.38

sumber : (BBWS Brantas, 2018)

Tabel 8. Analisa Biaya Galian dan Timbunan *Clay*

No	Item Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
1	Galian tanah	81525.25	m <sup>3</sup>	18,572.00	1,514,082,300.00
2	pembersihan	8000.00	m <sup>2</sup>	4,700.00	37,600,000.00
3	zona 2 (Filter Halus)	3621.38	m <sup>3</sup>	327,279.00	1,185,201,625.02
4	zona 1 (Lempung)	15353.50	m <sup>3</sup>	285,276.00	4,379,985,066.00
5	zona 4 (Random Tanah)	62550.37	m <sup>3</sup>	25,989.00	1,625,621,565.93
Total Biaya (Rp)					8,742,490,556.95

sumber : (BBWS Brantas, 2018)

## SIMPULAN

Berdasarkan dari analisis data yang dikumpulkan, dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian permeabilitas material *diafragma wall* hilir

menggunakan *falling head test* menunjukkan nilai koefisien permeabilitas terbesar adalah  $1.3 \times 10^5$  cm/dtk. dimana nilai ini sudah mencapai nilai koefisien permeabilitas

yang rendah. Hasil Kinerja *diafragma wall* hilir berdasarkan muka air tanah pada OW.8 < dari OW.7. *Diafragma wall* hilir atau dinding halang pengumpul rembesan air dapat dikatakan bekerja dengan baik. Dari analisa metode, *diafragma wall* lebih mudah dikerjakan dari pada menggunakan metode timbunan tanah *Clay*. Dari pengamatan metode *diafragma wall* dapat dilakukan di musim hujan dan musim kemarau. Dari analisa perhitungan waktu, diketahui lebih cepat menggunakan metode *diafragma wall* dengan lama waktu pekerjaan adalah 4 bulan 2 hari. Sedangkan untuk lama waktu pekerjaan dengan timbunan tanah *Clay* adalah 7,5 bulan. Berdasarkan perhitungan biaya maka metode pengeboran beton plastis lebih mahal dari pada metode timbunan tanah *Clay*. Biaya *diafragma wall* sebesar Rp. 9,581,703,257.38. dan biaya tanah *Clay* sebesar Rp. 8,742,490,556.95.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana berkat dukungan untuk memperoleh data dari tim Pembangunan Bendungan Tugu Di Kabupaten Trenggalek yang dikerjakan oleh WIKI-APTA. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada tim tersebut.

#### DAFTAR PUSTAKA

Arifin, M., & Budiyanto, M.A., 2021, *Analisis Keruntuhan Bendungan (Dam Break Analysis) Dalam Upaya Mitigasi Bencana (Studi Kasus Di Waduk/ Bendungan Tempuran)*, CivETech, III (1).

BBWS. Brantas, 2018, *Buku Kontrak III Proyek Bendungan Tugu Trenggalek*.

Budiyanto, M.A., 2018, *Penelusuran Waktu Perjalanan Banjir Dari Hulu Ke Hilir Sungai Code Sebagai Pertimbangan Early Warning Sistem*, CivETech, 13 (1), 41–52.

Lembaga penelitian tanah, 1979, *Penuntun Analisa Fisika Tanah*, Badan Litbang Pertanian

Mansuri, B., Salmasi, F., & Oghati, B., 2014, *Effect of Location and Angle of Cutoff Wall on Uplift Pressure in Diversion Dam*, Geotechnical and Geological Engineering, 32 (5), 1165–1173.

Muchamad, O., & Udiyanto, A.B., 2017, *Penelusuran Banjir Sungai Luk Ulo Akibat Perubahan Tutupan Lahan*, Jurnal Geografi, 14 (1), 26–39.

Mulyono, J., 2017, *Konsepsi Keamanan Bendungan Dalam Pembangunan Dan Pengelolaan Bendungan*, Jurnal Infrastruktur, 3 (01), 1–62.

PT Gistec Prima, 2021a, *Prosedur Manual Pemasangan Observation Well (Sumur Observasi)*.

PT Gistec Prima, 2021b, *Prosedur Manual Pembacaan Observation Well dan Open Standpipe Piezometer & Pemeliharaan Water level meter (Deep Meters)*. 1–5.

Purwanto; Pradoko Indra, Juwono; Pitojo Tri; & Asmaranto; Runi., 2017, *Analisa Keruntuhan Bendungan Tugu Kabupaten*

- Trenggalek*, Jurnal Teknik Pengairan, 8(2), 222–230.
- Reynold, W.D., and D.E.E., 2002, *Falling head soil core (tank) method: Laboratory method*. p. In D. E. Elrick and Campbell (Eds.), *Method of Soil Analysis Part 4-Physical Method*, 809–812.
- SDA, 2005, *Pedoman Grouting Untuk Bendungan*, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.
- Sosrodarsono, S, 2002, *Bendungan Tipe Urugan*, jakarta:PT Pradnya Paramita
- Sudaryanto, E., 2014, *Laporan Kajian Singkat Desain*, KSO Mettana - Brahma Setta Indonesia
- Sudaryanto, E., 2016a, *Justifikasi Teknis Bendungan Tugu Amandemen VI*, KSO Mettana - Brahma Setta Indonesia
- Sudaryanto, E., 2016b, *Justifikasi Teknis Bendungan Tugu Amandemen VII*, KSO Mettana - Brahma Setta Indonesia
- Sudaryanto, E., 2017, *Justifikasi Teknis Bendungan Tugu Amandemen X*, KSO Mettana - Brahma Setta Indonesia
- Sudaryanto, E., 2020, *Laporan Konsultan Bulan Juni*, Trenggalek: Tim Konsultan Bendungan Tugu Trenggalek
- Widagdo, 2018, *Pelaksanaan Pengawasan Bangunan Utama Bendungan*