

## STUDI INVESTIGASI MEKANIKA TANAH PONDASI BANGUNAN TUBUH BENDUNGAN (*MAIN DAM*) PADA PERENCANAAN BENDUNGAN KRESEK KABUPATEN MADIUN

**Aulia Rahman Oktaviansyah**

**Abstrak:** Salah satu potensi cadangan sumber air bagi Kabupaten Madiun adalah Sungai Catur yang merupakan aliran sungai utama pada Das Catur yang merupakan Sub Das Kali Madiun. Potensi Sungai Catur yang sangat besar tersebut sampai saat ini belum dapat dikembangkan secara optimal. Permasalahan yang ada saat ini pada Sungai Catur, apabila musim kemarau debit sungai mulai kecil, sedangkan pada musim penghujan debitnya cukup besar dan alirannya deras yang sering menimbulkan banjir pada daerah bagian hilir aliran Sungai Catur. Melihat dari kondisi dan permasalahan Sungai Catur saat ini, maka perlu dilakukan adanya suatu studi berupa Studi Awal Perencanaan Waduk secara Cascade pada wilayah aliran sungai DAS Catur untuk mengetahui potensi dan lokasi untuk kemungkinan adanya suatu pengembangan sumber daya air secara optimal dengan pembuatan bangunan penampung air dalam skala besar (Bendungan) pada bagian hilir Bendung Catur dan Bendung Cau yang bertujuan untuk menjaga kestabilan debit bagi penyediaan air baku, irigasi serta industri terutama pada musim kemarau dan pengendalian banjir bagi Kabupaten dan Kota Madiun pada musim penghujan. Berdasarkan kondisi lapangan serta kondisi sungai Catur, khususnya kondisi geologi dan tanah di rencana lokasi pembangunan waduk Kresek tersebut diperlukan adanya survey atau investigasi tanah sehingga nantinya tersedia informasi teknis yang lebih detail dalam perencanaan atau penetapan lokasi maupun rencana pembangunan waduk. Dengan kondisi tersebut, perlu dilaksanakan rencana penetapan As Bendungan Waduk Kresek, sebagai langkah awal, agar di kemudian hari tidak menjadi masalah yang merugikan. Selain itu, diharapkan juga nantinya diperoleh perencanaan Waduk Kresek yang efektif, ekonomis dengan manfaat yang optimal.

**Kata kunci:** Sungai Catur, air baku, irigasi, geologi, As Bendungan

Kerusakan lingkungan yang makin meluas khususnya di Provinsi Jawa Timur memberi dampak pada meningkatnya aliran permukaan (limpasan) sehingga menyebabkan besaran banjir setiap tahunnya cenderung meningkat. Namun sebaliknya resapan air cenderung mengecil, sehingga ketersediaan air sebagai potensi Sumber Daya Air (SDA) makin terbatas. Kondisi yang demikian, pada daerah – daerah tertentu sangat rentan sekali akan terjadinya kekurangan/kekeringan air, dan dari tahun ketahun kondisi tersebut cenderung luasannya meningkat.

Dari beberapa referensi dan kondisi lapangan serta kondisi kali Catur, khususnya kondisi geologi dan tanah di rencana lokasi pembangunan waduk Kresek tersebut dirasakan perlu adanya survey atau investigasi tanah sehingga nantinya tersedia informasi teknis yang lebih detail dalam perencanaan atau penetapan lokasi maupun rencana pembangunan waduk. Dengan kondisi tersebut di atas, maka perlu dilaksanakan rencana penetapan As Bendungan Waduk Kresek, sebagai langkah awal, agar di kemudian hari tidak menjadi masalah yang merugikan. Selain itu, diharapkan juga nantinya diperoleh perencanaan waduk Kresek yang efektif, ekonomis dengan manfaat yang optimal bahkan maksimal.

Masalah yang dapat dirumuskan dari studi ini adalah bagaimana hasil investigasi gambaran mengenai kondisi geologi permukaan dan bawah permukaan, sifat-sifat fisik dan mekanika batuan serta uji dan analisa laboratorium pada lokasi rencana As bendungan dan daya dukung izin yang syaratkan.

Manfaat dari studi ini adalah untuk mendapatkan informasi dan data geologi serta data tanah pada lokasi rencana pembangunan Waduk Kresek di Kabupaten Madiun. Adapun Tujuan dari Penyusunan Studi Investigasi Mekanika Tanah Rencana Bendungan Kresek Kabupaten Madiun ini adalah untuk melakukan penelitian tanah pada rencana lokasi pembangunan waduk untuk mendapatkan suatu lokasi As Bendungan Waduk Kresek sebagai pertimbangan dan dukungan data teknis dalam perencanaan waduk yang efektif agar pada pelaksanaan pekerjaannya tidak menimbulkan masalah besar dari aspek geologi. Wilayah studi kegiatan Investigasi Mekanika Tanah Rencana Bendungan Kresek Kabupaten Madiun adalah Desa Kresek Kecamatan Wungu Kabupaten Madiun.

### **Pemetaan Geologi**

Pemetaan Geologi regional dilakukan pada setiap alternatif rencana pembangunan waduk dengan berbasis data peta geologi skala 1 : 25.000 dari Direktorat Geologi. Pemetaan Geologi regional dilakukan pada setiap alternatif rencana pembangunan waduk dan harus mencakup pembahasan yang meliputi: (Bowles, J.E.,1984).

- Keadaan geomorfologi
- Penyebaran satuan-satuan batuan (litologi) yang termasuk batu maupun tanah harus jelas dibedakan, seperti batuan dasar, *over burden*, tingkat pelapukan, sifat fisik, tekstur, cementing dan lainnya.
- Harus diperhatikan dan diteliti seperti struktur geologi
- *Strike dip* dari perlapisan, *system joint* dan patahan.
- *Stratigrafi* yang berupa urutan dari satuan batuan secara vertikal berdasarkan pembentukan sesuai dengan sejarah geologinya.
- Gejala-gejala lainnya seperti : longsoran, kegempaan, air tanah dan lain-lain.
- Peta yang dipakai untuk pekerjaan pemetaan Geologi adalah :
- Peta daerah geologi dengan skala 1 : 10.000 atau 1 : 50.000
- Peta semi detail dengan skala 1 : 25.000 atau 1 : 5.000
- Peta detail dengan skala 1 : 2.000 atau 1 : 1000
- Peta Geologi skala 1 : 25.000 dari Direktorat Geologi
- Peta Banjir wilayah sekitar site bendungan
- Peta-peta hasil perencanaan/konstruksi terdahulu
- Gambar/peta hasil perencanaan terdahulu

### **Pemboran Inti**

Alat yang dipergunakan adalah mesin bor putar (*rotary type drilling machine*) yang operasinya dilakukan secara hidrolis. Bor yang akan dipergunakan adalah bor ukuran "NX" berdasarkan DCDMA (*Diamond Core Drilling Manufactures Association*) dengan : diameter teras NQ (core) 54,7 mm dan diameter lubang 75.5 mm. (Verhoef, 1985). Pemboran inti yang harus dilakukan adalah total 200 m untuk direncanakan dibagi pada beberapa tempat atau titik rencana dibangun utama yang diperlukan. Pemboran Inti harus diambil contoh tanah dan batuan yang kemudian dimasukkan dalam kotak tanah, 1 kotak tanah terdiri dari 5 meter kedalaman yang terus menerus / berurutan. Disamping itu juga dilakukan pengujian dilapangan (in Situ dalam lubang bor yaitu Pengujian Standart penetration Test setiap Interval 2 m, kedalaman dan pengujian permeabilitas tanah dengan interval kedalaman 5 m. (Suyono Sosrodarsono,1984)

### Pembuatan Sumur Uji (Tes Pit)

Pekerjaan sumur uji atau test pit adalah untuk mengetahui jenis dan tebal lapisan di bawah lapisan tanah atas dengan lebih jelas, baik untuk pondasi bangunan maupun untuk bahan timbunan pada daerah sumber galian bahan (*borrow area*). Dengan demikian akan dapat diperoleh gambaran yang lebih jelas mengenai jenis lapisan dan tebalnya, juga volume bahan galian yang tersedia dapat dihitung. Sumur uji digali dengan mempergunakan tenaga manusia. (Kurnian P Nainan. 1982)

### Pengujian Bahan-bahan di laboratorium Mekanika Tanah

Pengujian Laboratorium dilakukan pada semua contoh tidak terganggu dari sumur uji (Test Pit). Pengujian bahan timbunan dari sumuran uji yaitu meliputi Pengujian sifat tanah secara fisik (*Index properties*) dan secara mekanik (*Mecahnical Properties*) yang meliputi : (Al-Khafaji, A.W., and Andersland, O.B., 1992)

- Sifat fisik, antara lain :
  - Berat spesifik (Gs)
  - Berat isi ( $\gamma_n$ )
  - Kadar air (Wn)
  - Analisis Butiran
  - Batas-batas Atterberg
  - Hidrometer
- Sifat mekanik.teknik, antara lain :
  - Uji geser langsung
  - Konsolidasi
  - Uji triaksial
  - Uji permeabilitas

### Pengujian Kelulusan Air

Pengujian kelulusan air dilakukan dengan 2 metode yaitu: (Hadiyatmo, H.C., 1992)

- Metode tanpa tekanan (akibat gravitasi air) biasa disebut *opened permeability test*.

$$K = \frac{\phi}{5,5 r.h} \quad (1)$$

Di mana :

$\phi$  = debit air masuk ke lubang bor

r = jari-jari lubang bor

h = perbedaan tinggi air

- Metode dengan tekanan biasa disebut packer test

$$K = \frac{\phi}{2 \pi l.h} \log \frac{L}{r} \quad (2)$$

Di mana :

$\phi$  = debit air masuk ke lubang bor

r = jari-jari lubang bor

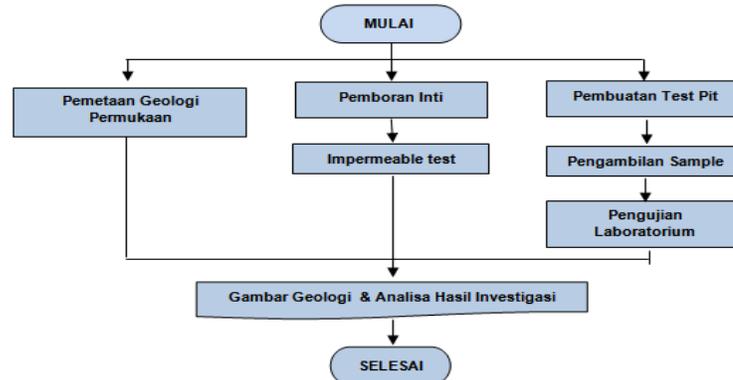
h = tinggi tekanan air

L = panjang lubang bor yang dites

### METODE

Dalam studi ini dilakukan beberapa tahap pekerjaan mulai dari tahap persiapan, tahap penyelidikan lapangan, tahap uji laboratorium, yang disajikan dengan bagan alir

sebagai berikut.



Gambar Bagan Alir Studi Geologi Teknik

### Penetrasi Standar Test (SPT)

Pada saat pengeboran dilakukan pengujian penetrasi standar (SPT) untuk memperoleh harga "N" dan contoh terganggu yang representatif dari lapisan tanah. Harga "N" dipakai untuk membuat prakiraan kondisi lapisan tanah bawah. Sehubungan dengan daya dukung untuk perhitungan pondasi.

- Harga "N" didefinisikan sebagai jumlah pukulan dengan palu seberat 63.5 kg yang jatuh bebas dari ketinggian 75 cm, untuk memasukkan alat pengambil contoh sedalam 30 cm kedalam tanah.
- Test ini dilakukan dengan interval kedalaman 2 meter dan atau ditiap-tiap ada perubahan lapisan tanah.
- Peralatan yang digunakan : *Drive Hammer Assembly*, batang bor diameter 40.5 mm atau 42 mm, alat pengambil contoh Spit Spoon diameter luar 2" dan diameter dalam 1 3/8", alat pengambilan contoh transparan yang kedap udara, lembar data lain-lain.

### Test Permeabilitas

Pengujian permeabilitas dipakai metoda pengujian packer (*packer test*).

- Test Permeabilitas harus dilakukan disetiap lubang bor, mencakup seluruh kedalaman lubang, kecuali 1.5 m dibawah permukaan tanah.
- Test akan dilakukan sekali per 5 m dari kedalaman lubang, dengan metoda tahap turun (*descending stage method*). Sebagai prinsip, panjang masing-masing tahap adalah 5,0 m dan tahap-tahap selanjutnya harus dibor setelah test sebelumnya selesai.
- Pada tahap dimana dinding lubang mudah runtuh, lubang itu harus diberi pipa lindung dan harus dipakai metoda test open end seperti *falling head* atau *constant head*.
- Test harus dilakukan dengan metoda tahap. Air injeksi harus bersih, tanpa mengandung bahan-bahan halus. Tidak diperbolehkan menggunakan bahan-bahan tambahan dalam pembuatan lubang bor.
- Untuk menghindari terjadinya keregangan (*clearance*) antara lubang bor dan pipa lindung tanpa mengganggu tekstur lapisan asli, tidak diperkenankan menggali sedalam 1 meter dari bagian dasar pipa lindung dengan cara pemukulan dengan palu. Bagian ini harus dibor dengan cara mendongkrak atau menekan.
- Peralatan yang dipergunakan : Packer karet atau packer udara, tanko air, pipa injeksi air dan meter air.

Pembuatan sumuran uji dilakukan pada lokasi yang direncanakan sebanyak 4 lubang dan masing-masing sumuran uji dilakukan pengambilan contoh tanahnya untuk dilakukan pengujian laboratorium.

- Ukuran melintang sumur uji harus cukup besar untuk memungkinkan dilakukannya penggalian, yakni sekitar 1 x 1.5 m dengan kedalaman 3.0 sampai 5.0 meter.
- Bahan yang dikeluarkan dari galian harus dikumpulkan di sekitar sumur uji untuk mengetahui bahan lain setiap kedalaman tertentu.
- Agar pengambilan contoh dan klasifikasi tanah dapat dilakukan dengan baik, dasar sumur uji harus dibuat horizontal.
- Pada waktu membuat sumur uji, harus dilakukan uji berat volume di lapangan pada setiap kedalaman 2.0 m dengan metoda berat volume pasir atau metoda volume air menurut JIS 121 H/1971 atau ASTM D 2937 – 71.
- Pembuatan sumur uji ini dihentikan bilamana:
  - a) Telah dijumpai lapisan keras dan diperkirakan benar-benar keras di sekeliling lokasi tersebut. Peralatan menggali sederhana seperti cangkul, linggis atau belincong tidak bisa menembus lagi.
  - b) Bila dijumpai rembesan air tanah yang cukup besar sehingga sulit untuk diatasi dengan peralatan-peralatan pompa sederhana di lapangan.
  - c) Bila dinding galian mudah runtuh, sehingga pembuatan galian mengalami kesulitan, usahakan terlebih dahulu dengan membuta papan
  - d) Papan penahan dinding galian sebelum penelitian ini dihentikan

Adapun tujuan semua pekerjaan soil investigasi ini adalah untuk :

- Updating peta geologi di alternatif lokasi waduk (Alternatif) berikut kolam waduknya termasuk penetapan lokasi-lokasi *borrow area* dan *quarry area*. Pemetaan geologi kolam waduk dan sekitarnya termasuk pemetaan geologi rencana tapak waduk yang dipilih dan bangunan pelengkap.

- Investigasi Geologi Teknik

Secara keseluruhan quantities pekerjaan lapangan dan test laboratorium adalah sebagai berikut :

a) Pekerjaan Lapangan

- |                         |            |
|-------------------------|------------|
| 1) Pemboran inti        | = 200 m    |
| 2) WPT                  | = 40 test  |
| 3) SPT                  | = 75 test  |
| 4) Sumur Uji (Test Pit) | = 4 lokasi |

b) Pekerjaan Laboratorium

- |                          |          |
|--------------------------|----------|
| 1) Material Tanah        | = 4 test |
| 2) Natural Water Content | = 4 test |
| 3) Natural Density       | = 4 test |
| 4) Specific Gravity      | = 4 test |
| 5) Grain Size Analysis   | = 4 test |
| 6) Atterberg Limit       | = 4 test |
| 7) Compaction Test       | = 4 test |
| 8) Triaxial Test         | = 4 test |
| 9) Permeability          | = 4 test |
| 10) Consolidation        | = 4 test |

c) Test Laboratorium untuk material pasir dan gravel

- |                   |          |
|-------------------|----------|
| 1) Sieve analysis | = 2 test |
|-------------------|----------|

- 2) Bulk specific gravity = 2 test
- 3) Water absorption = 2 test
- 4) Soundness of aggregate = 2 test
- 5) Clay content = 2 test
- 6) Organic impurities = 2 test

Pengujian Laboratorium dilakukan pada semua contoh tidak terganggu dari sumur uji (Test Pit). Pada contoh tanah tak terganggu (*Undisturbed Sample*) dilakukan test laboratorium untuk mendapatkan besaran : (*Kovacs, WD and Holtz, R.D.,1981*)

a. *Index & Physical Properties* yang terdiri dari harga-harga :

- \* Water Content(Wn)
- \* Bulk Density & Dry Density( gm, gd )
- \* Grain Size Analysis dan / hydrometer test ( G, S, M, C )
- \* Specific Gravity(Gs)
- \* Atterberg Limit(Wl,Wp, Ip )

b. *Mechanical Properties* yang terdiri dari harga-harga :

- \* Unconfined Compression(Qu)
- \* Triaxial Compression(UU, CU)
- \* Consolidation (Cv, Cc)
- \* Direct Shear (pada tanah non-kohesif) ( C, f )

Prosedur tes laboratorium dilaksanakan berdasarkan tahapan seperti tersebut di bawah ini : (*Darman, H, Sidi FH, 2000*)

1. *Water Content* :

Prosedur mengikuti cara ASTM D. 2216-71, PB 0117 - 76.

2. *Bulk and Dry Density* :

Prosedur percobaan untuk disturbed dan Undisturbed Sample adalah ASTM D. 423-66 dan ASTM D 424-59

3. *Grain Size Distribution & Hydrometer*.

Prosedur pengujian mengikuti ASTM D 421-85 dan D 422-72, AASHTO T. 87 dan T. 88, PB 0107-76. Nama tanah berdasarkan ukuran butirannya sesuai standar ASTM adalah sebagai berikut:

- \* Kerikil > 4.75 mm
- \* Pasir 4.75 - 0.074 mm
- \* Lanau 0.074 - 0.002 mm
- \* Lempung < 0.002 mm

Klasifikasi tanah berbutir kasar, yaitu :

- \* GW kerikil dengan gradasi baik, sedikit butiran halus
- \* GP kerikil dengan gradasi buruk, sedikit butiran halus
- \* GM kerikil dengan campuran lanau
- \* GC kerikil dengan campuran lempung
- \* SW pasir dengan gradasi baik, sedikit butiran halus
- \* SP pasir dengan gradasi buruk, sedikit butiran halus
- \* SM pasir dengan campuran lanau
- \* SC pasir dengan campuran lempung

4. *Specific Gravity (Gs)*.

Prosedur mengikuti cara ASTM D 854-83 atau AASHTO T.100, PB 0108-76.

5. *Atterberg Limit* :

Prosedur pengujian mengikuti ASTM D. 854-7-, D 4318-84, AASHTO T. 89, PB

0109 -76.

6. *Liquid Limit (LL)*

Batas cair / Liquid Limit ini adalah kadar air yang dinyatakan dalam persen dari contoh tanah yang dikeringkan dalam oven pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis. Nilai batas cair ini ditentukan dengan cara menentukan nilai kadar air pada contoh tanah yang mempunyai jumlah ketukan sebanyak 25 kali dijatuhkan setinggi 1 cm, pada kecepatan ketukan 2 kali setiap detiknya, dan panjang lereng torehan percobaan ini adalah 12,7 mm.

7. *Plastic Limit (PL) :*

Batas plastis ini adalah nilai kadar air pada batas bawah daerah plastis.

Kadar air ini ditentukan dengan menggiling-giling tanah yang melewati ayakan no. 40 (0.425 mm) pada alat kaca sehingga membentuk  $\phi$  3,2 mm dan memperlihatkan retak-retak.

8. *Index Plasticity (PI) :*

*Index Plasticity* adalah selisih nilai kadar air dari batas cair ke batas plastis.

Klasifikasi tanah berbutir halus, yaitu :

Untuk tanah dengan nilai batas cair kurang dari 50 %.

- \* ML Lanau anorganik dengan plastisitas rendah.
- \* OL Lanau organik dengan plastisitas rendah
- \* CL Lempung anorganik dengan plastisitas rendah

Untuk tanah dengan batas cair lebih dari 50 %

- \* MH Lanau anorganik dengan plastisitas tinggi
- \* OH Lempung organik dengan plastisitas tinggi
- \* CH Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi

Klasifikasi tanah mengikuti prosedur ASTM D 2487-85

9. *Unconfined Compressive Test*

Prosedur mengikuti : ASTM D. 2166 - 85, AASHO T. 208, PB 0144-76.

10. *Triaxial Compression Test.*

Percobaan ini dimaksudkan untuk memperoleh nilai kekuatan geser serta sifat-sifat tanah akibat pembebanan untuk mendapatkan hasil yang cukup baik, pada setiap sample perlu disiapkan 3 contoh tanah dengan pembebanan atau tekanan cell yang berlainan disesuaikan dengan rencana pembebanan bangunan yang ada.

11. *Consolidation Test :*

Prosedur test konsolidasi mengikuti ASTM D - 2435-80

12. *Direct Shear Test :*

Prosedur mengikuti : ASTM D. 3080, AASHO T. 236, PB 0116 – 76

13. *Pemadatan Standar*

Pemadatan ini dimaksudkan untuk mendapatkan nilai-nilai :

- \* Kadar air optimum (OMC)
- \* Kepadatan tanah maksimum ( $\gamma_d$  maks)

Parameter OMC dan  $\gamma_d$  maks diperlukan untuk menetapkan persyaratan-persyaratan tanah pada *borrow area*.

Metode yang digunakan adalah metode *standar proctor*.

Tabel Sasaran dan Perolehan Data Geologi Teknik dan Mekanika Tanah

PEKERJAAN	BAGIAN	UNSUR PENTING	KEGIATAN	PEROLEHAN	DATA TEKNIK	
					SIFAT FISIK	SIFAT MEKANIK
Bendungan Embung Waduk	Pondasi Bendungan	Kekuatan/Strength / Daya Dukung	Pemboran	- Penampang Geologi	- Zona Airtanah	- Kekuatan/Strength (UCS) - Kohesi ( C ) - Sudut geser ( $\phi$ )
		Permeabilitas		- Core Pemboran	- RQD	
	Tebing / Kolam Waduk	Stabilitas	- Disterbed & Undisterbed Sample	- Absorpsi & Swelling	- Konsistensi & Kepadatan Relatif - Permeabilitas Lugeon	- Daya Dukung/Strength
Sumber Material Tanah	Bocoran / Rembesan	Pemetaan Geologi	- Uji Insitu SPT WPT			
	Kuantitas dan Kualitas →		- Test Pit & Bor Tangan / Mesin	- Peta penyebaran batuan dan tanah	- Kadar Air Asli - Kepadatan Asli - Distribusi Butir / (Gradasi) - ATT - Permeabilitas - Absorpsi & Swelling Potensial	
Aksesibilitas →	Interpretasi Foto Udara & Peta Topografi / Rupabumi	- Lokasi		- Kepadatan ( $\gamma_d$ ) maks - Kadar Air Wopt - Kohesi ( C ) - Sudut geser ( $\phi$ )		
			- Rute			

## PEMBAHASAN

### Geologi Regional

#### a) Fisiografi Regional

Menurut (*Bemmelen, van, R.W., 1949*), secara fisiografi daerah wilayah Kabupaten Madiun terdiri dari 2 (dua) zona geomorfologi yaitu: Zona Sola dan Pegunungan Selatan. Sedangkan zona di sebelah utara.

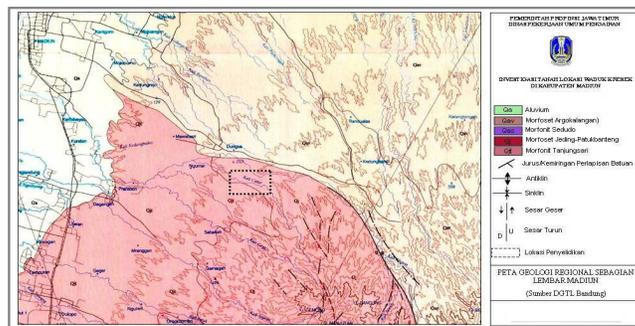
Zona Solo (daerah rendah) terbentuk oleh batuan dasar yang terdepresi dan tertutup endapan muda. Pada Zona Solo terdapat gunung api yaitu Gunung Lawu dan Gunung Wilis. Sedang disebelah utara Zona Solo adalah Zona Kendeng (perbukitan) terbentuk oleh terangkatnya batuan dasar pada masa Tersier (30 juta tahun yang lalu). Pada zona-zona tersebut tersebar batuan sangat lunak dan tertutup material lepas tipis. Pegunungan di sebelah selatan membentuk topografi yang curam oleh terangkatnya batuan dasar pada masa tersier. Batuan dasar di wilayah ini relatif keras dan keadaan bukit-bukit yang bergelombang terbentuk oleh erosi dalam jangka lama pada batuan dasar tersebut.

#### b) Stratigrafi Regional

Batuan dasar pada Wilayah Kabupaten Madiun terdiri dari endapan dan hasil erupsi gunungapi pada masa Tersier. Batuan dasar muncul keluar di daerah perbukitan dan pegunungan bagian selatan yang terangkat pada masa Pliosen menutup batuan dasar dari pegunungan bagian selatan.

#### c) Struktur Geologi Regional

Pola kelurusan di batuan gunung api Kuarter G. Wilis, umumnya berarah timur laut-barat daya dan barat laut-tenggara dan sedikit yang berarah utara-selatan. Pola ini sama dengan pola kelurusan Pegunungan selatan. Sebagian kelurusan itu berkembang mejadi sesar dan kekar. Sesar utama di daerah ini ialah sesar K. Kuncir dan Sesar K. Klepon. Kedua sesar itu merupakan sesar turun, yang membentuk terban diantaranya. Peta Kondisi Geologi Regional Kabupaten Madiun dan Sekitarnya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar Peta Geologi Regional Kabupaten Madiun dan Sekitarnya

## Geologi Waduk Kresek

### a) Geomorfologi

Lokasi bendungan merupakan punggung perbukitan (*ridge*) dari Morfoset Jeding-Patukbanteng (Breksi Gunungapi, Sisipan tuf dan batu apung, lava andesit) yang terpotong oleh Sungai Ambang (Plupuh) yang mengalir dari Tenggara ke Barat laut membentuk palung sungai relatif sempit berbentuk huruf “V”. Elevasi dasar sungai 310 dpl, bukit tumpuan kiri s/d el. 345 m dpl, berlereng agak curam dengan kemiringan  $40^{\circ}$ , sedangkan bukit tumpuan kanan s/d el. 365 m dpl, dengan kemiringan lereng rata-rata  $50^{\circ}$ .

### b) Stratigrafi Waduk Kresek

Secara umum terdapat korelasi yang baik antara geologi daerah penyelidikan dan geologi regional. Menurut Peta Geologi Regional Lembar Madiun daerah penyelidikan terdapat pada Morfoset Jeding-Patukbanteng dan Morfonit Tanjungsari. Susunan stratigrafi di daerah penyelidikan dari yang termuda ke yang tertua berdasarkan pengamatan batuan dipermukaan dapat dibedakan menjadi 3 satuan:

- Satuan Aluvial
- Satuan Koluvial
- Satuan Breksi Tuf

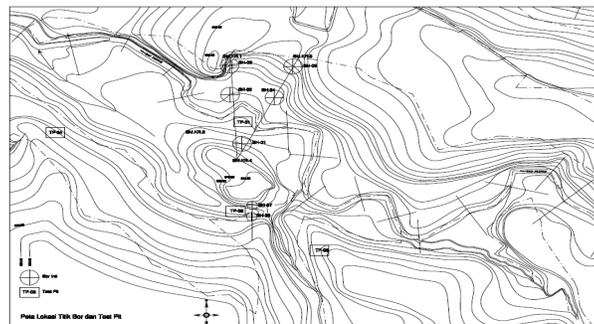
## Geologi Teknik Waduk Kresek

### a) Geologi As Bendungan

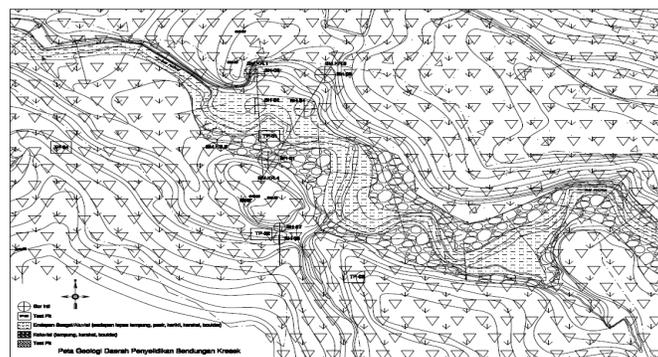
Berdasarkan hasil pemboran inti pada BH-02 (As Bendungan Alternatif 2), lapisan paling atas berupa top soil, warna coklat, berupa lempung lanauan dengan kedalaman 0.0 – 1.5 m. Kedalaman 1.5 – 3.5 m, dijumpai endapan sungai (undak sungai), berwarna abu-abu, lepas, tidak terkonsolidasi, pasir, kerikil dan boulder andesit, ukuran diameter 2 - 15 cm. Kedalaman 3.5 – 10.0 m breksi tufan, lapuk sedang-lanjut, berwarna coklat muda kekuningan, berukuran 2 – 10 cm, menyudut tanggung – membundar tanggung, tepilah buruk dan kemas terbuka. Komponen terdiri dari kepingan batuapung, andisit di dalam masadasar tuf pasiran berukuran kasar. Dijumpai berselingan dengan breksi gunungapi. Kedalaman 10.0 – 12.5 m, berupa sisipan pasir tufan, berwarna kelabu muda kekuningan, berbutir sedang – kasar, terdiri dari kepingan batuapung, batuan beku, kuarsa dan kaca gunungapi. Kedalaman 12.5 – 40 m dijumpai breksi tufan, berwarna coklat muda kekuningan, berukuran 2 – 10 cm, menyudut tanggung – membundar tanggung, tepilah buruk dan kemas terbuka. Komponen terdiri dari kepingan batuapung, andisit di dalam masadasar tuf pasiran berukuran kasar. Dijumpai berselingan dengan breksi gunungapi. Nilai  $N_{SPT}$  berkisar antara 24 sampai > 50 blows/ft dan hasil permeability test BH-02 pada kedalaman interval 0 – 5 m adalah

$10^{-3}$ , sedangkan pada kedalaman 5 sampai dengan kedalaman 40 m nilai permeability adalah  $10^{-4}$ .

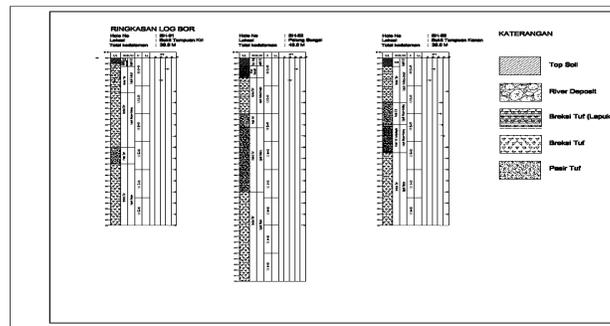
Berdasarkan hasil pemboran inti pada BH-04 (As Bendungan Alternatif 1), lapisan paling atas berupa top soil, warna coklat, berupa lempung lanauan dengan kedalaman 0.0 – 1.5 m. Kedalaman 1.5 – 5.0 m, dijumpai endapan sungai (undak sungai), berwarna abu-abu, lepas, tidak terkonsolidasi, pasir, kerikil dan boulder andesit, ukuran diameter 2 - 15 cm. Kedalaman 5.0 – 10.0 m brekksi tufan, lapuk sedang-lanjut, berwarna coklat muda kekuningan , berukuran 2 – 10 cm, menyudut tanggung – membundar tanggung, tepilah buruk dan kemas terbuka. Komponen terdiri dari kepingan batupung, andisit di dalam masadasar tuf pasiran berukuran kasar. Dijumpai berselingan dengan breksi gunungapi. Kedalaman 10.0 – 23.0 m, dijumpai breksi tufan, berwarna coklat muda kekuningan , berukuran 2 – 10 cm, menyudut tanggung – membundar tanggung, tepilah buruk dan kemas terbuka. Komponen terdiri dari kepingan batupung, andisit di dalam masadasar tuf pasiran berukuran kasar. Dijumpai berselingan dengan breksi gunungapi. Kedalaman 23.0 – 30.0 m berupa sisipan pasir tufan, berwarna kelabu muda kekuningan, berbutir sedang – kasar, terdiri dari kepingan batupung, batuan beku, kuarsa dan kaca gunungapi. Kedalaman 23.0 – 30 m. Kedalaman 30 – 40 m dijumpai breksi tufan, berwarna coklat muda kekuningan , berukuran 2 – 10 cm, menyudut tanggung – membundar tanggung, tepilah buruk dan kemas terbuka. Komponen terdiri dari kepingan batupung, andisit di dalam masadasar tuf pasiran berukuran kasar. Nilai  $N_{SPT}$  berkisar antara 33 sampai > 50 blows/ft dan hasil permeability test BH-04 pada kedalaman interval 0 – 5 m adalah  $10^{-3}$ , sedangkan pada kedalaman 5 sampai dengan kedalaman 40 m nilai permeability adalah  $10^{-4}$ .



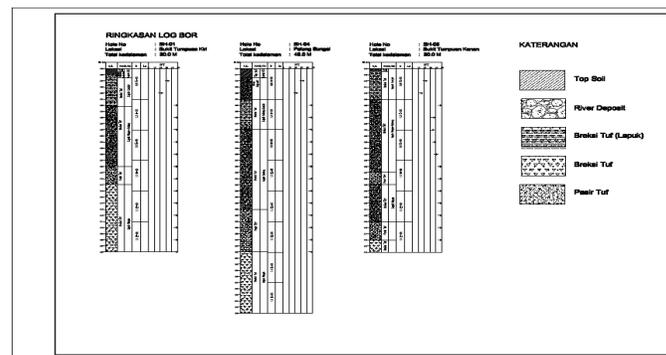
Gambar Peta Lokasi Titik Bor Inti dan Test Pit



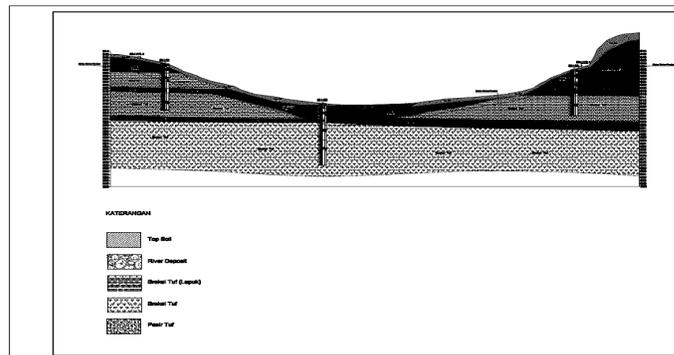
Gambar Peta Geologi Daerah Penyelidikan Bendungan Kresek



Gambar Ringkasan Log Bor As Bendungan Alternatif 1



Gambar Ringkasan Log Bor As Bendungan Alternatif 2



Gambar Penampang Geologi As Bendungan Alternatif 1

### Perbaikan Pondasi

Secara umum batuan dasar pondasi Bendungan Kresak terdiri dari satuan Breksi Tuf, meskipun lapuk ringan-sedang masih relatif cukup kompak dan semi-permeabel. Dipermukaan pada sandaran kiri tertutup oleh lapisan penutup terdiri dari campuran lempung dan gravels yang relatif tipis maksimum 1.5 m (Bore Hole-01) di puncak sandaran kiri, dan diperkirakan semakin menipis di lereng sandaran kiri dan di dasar sandaran kiri sudah tersingkap batuan breksi tuf. Dengan demikian lapisan penutup di sandaran kiri, khususnya yang berada di bawah timbunan inti kedap lempung perlu digali maksimum 6-7 m di puncak sandaran kiri, semakin ke dasar semakin tipis.

Pada sandaran kanan tertutup pula oleh lapisan penutup, terdiri dari campuran lempung dan gravels (*Decampond Tuf Breccia*). Di bagaian atas BH-03 sekitar 7 m, kemudian semakin ke bawah di titik menjadi tebal 9 m, dan akhirnya 11.5 m di dasar sungai (Bore Hole-04). Lapisan penutup ini perlu digali seluruhnya, terutama pada bagaian pondasi yang berada di bawah timbunan inti lempung.

Di bagian tengah sungai Ambang (Plupuh) tertutup oleh endapan sungai setebal 4 m (Bore Hole-02 dan Bore Hole-04), terdiri dari pasir-kerikil-kerakal dan bolder. Endapan sungai ini terutama yang berada di bawah timbunan inti lempung perlu digali dan dibuang seluruhnya, agar timbunan inti bertumpu langsung di atas pondasi Breksi Tuf.

Pondasi batan dasar breksi tuf ini cukup stabil untuk menumpu tubuh bendungan, tetapi kurang mampu manahan rembesan yang melewati pondasi bendungan. Angka kelulusan air  $k = 10^{-3}$  sampai  $k = 10^{-4}$  cm/dt. Lugeon  $< 5$  umumnya dijumpai di bagian tengah pada kedalaman sekitar 8 – 10 m (dibawah galian endapan sungai). Kemudian pada puncak sandaran kiri angka Lugeon  $< 5$  baru dijumpai pada kedalaman sekitar 5 - 10 m di bawah permukaan. Dibawah kedalaman 10 m mempunyai angka kelulusan air  $k = 10^{-4}$  cm/dt, yang perlu dilakukan grouting di bawah timbunan bendungan.

Pondasi bendungan di bagian tengah mempunyai angka kelulusan air  $k = 10^{-3}$  cm/dt sampai  $10^{-4}$  cm/dt kedalaman sekitar 10 m di bawah galian endapan sungai. Tetapi di bagian bawah pada kedalaman sekitar 10-40 m mempunyai angka kelulusan air  $k = 10^{-4}$  cm/dt. Untuk itu disarankan perbaikan pondasi grouting di daerah ini agar dilaksanakan sampai kedalaman 35 m di bawah galian endapan sungai. Macam grouting yang akan diterapkan untuk perbaikan pondasi dibawah timbunan tanah adalah :

- Curtain Grouting
- Blanket Grouting
- Consolidation Grouting

## KESIMPULAN

- a) Gambaran kondisi geologi permukaan Rencana lokasi terpilih secara umum geologi daerah penyelidikan dan geologi regional menurut Peta Geologi Regional Lembar Madiun daerah penyelidikan terdapat pada Morfoset Jeding-Patukbanteng dan Morfonit Tanjungsari. Susunan stratigrafi di daerah penyelidikan dari yang termuda ke yang tertua berdasarkan pengamatan batuan dipermukaan dapat dibedakan menjadi 3 satuan:
  - Satuan Aluvial (*River deposit*)
  - Satuan Koluvial
  - Satuan Breksi Tuf.
- b) Berdasarkan hasil pemboran inti dan uji SPT, maka pondasi bendungan harus bertumpu pada batuan yang relatif keras, yaitu diletakkan pada satuan breksi tuf dengan kondisi lapuk ringan-sedang, yang mempunyai sifat keras dan kompak dengan nilai  $N > 50$  dengan dengan mengupas bagian atas dengan ketebalan 8-10 m pada palung dan lembah sungai, sedangkan untuk bukit sandaran kanan-kiri cukup disingkap variasi kedalaman 5 – 7 m.
- c) Hasil uji permeabilitas menunjukkan kelulusan air di pondasi mempunyai nilai rata-rata  $10^{-4}$  cm/dt, sehingga perbaikan pondasi harus dilakukan untuk menurunkan nilai kelulusan air menjadi  $10^{-5}$  cm/dt dengan metode grouting.

## Saran

Dari pembahasan dan beberapa kesimpulan maka perlu dilakukan beberapa hal pekerjaan yang harus dilaksanakan antara lain:

- a. Pada tahap studi selanjutnya perlu dilakukan penyelidikan geologi teknik tambahan berupa pemboran inti beserta insitu test pada rencana as bendungan, rencana saluran pengelak dan as pelimpah pada bukit tumpuan kiri sehingga data geologi teknik dapat lebih detail.

- b. Karena harga permeabilitas yang bervariasi antara  $10^{-3}$  cm/dt sampai  $10^{-5}$ , maka pondasi bendungan terutama dibawah timbunan inti tanah lempung diperlukan perbaikan *grout injection cement*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Al-Khafaji, A.W., and Andersland, O.B., (1992), *Geotechnical Engineering and Soil Testing*, Saunders College Publishing.
- Bemmelen, van, R.W., 1949, *The Geology of Indonesia*, Martinus Nyhoff, The Hague, Nederland.
- Bowles, J.E., (1984), *Physical and Geotechnical Properties of Soils*, Mc. Graw Hill.
- Craig, R.F., (1989), *Soil Mechanics*, (terjemahan Budi Susilo S.), 4th ed., Jakarta: Erlangga.
- Darman, H, Sidi FH,(2000), *An Outline of The Geologi of Indonesia*, Ikatan Ahli Geologi Indonesia, Jakarta.
- Das, B.M., (1985), *Principles of Geotechnical Engineering*, (terjemahan Indrasurya B.M. dan Noor Endah), Jilid I, Jakarta: Erlangga.
- Das Braja M.,(1993), *Principle of Soil Dynamics*, PWS-KENT, Boston.
- Hadiyatmo, H.C., (1992), *Mekanika Tanah I*, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Kurnian P Nainan. 1982. *Modern Foundation:Introduction to Advance Technique*, Tata Mc Graw Hill, New Delhi.
- Kovacs, WD and Holtz, R.D., (1981), *An Introduction to Geotechnical Engineering*, Prentice Hall.
- Hamilton, W., 1979. *Tectonics of The Indonesian Region*, United State of Geological Survey.
- Prakash. S. 1981. *Soil Dynamics*, Mc. Graw Hill, New York
- Prakash. S., Puri,V.K., 1988, *Foundation for Machines: Analysis and Design*, Wiley and Sons, New York.
- Suyono Sosrodarsono (1984), *Bendungan Tipe Urugan*, Jakarta: Pradnya Paramita.
- Srinivasulu P.Vaidyanathan C V. 1977. *Handbook of Machine Foundation*, Tata Mc Graw Hill,New Delhi.
- Verhoef, (1985), *Geologi untuk Teknik Sipil*, Jakarta: Erlangga.