

# PENGARUH TEKANAN AIR PORI TANAH PADA STABILITAS BENDUNGAN

Yuliman Ziliwu

## ABSTRAK

*Air tanah merupakan salah satu komponen dalam suatu daur hidrologi yang berlangsung di alam. Sumber air terbentuk dari air hujan yang meresap ke dalam tanah dan mengalir melalui lapisan batuan yang bertindak sebagai lapisan pembawa air (Akuifer). Dari proses daur tersebut dapat dipahami bahwa keterpadatan air tanah sangat berkaitan erat dengan komponen lingkungan lain yaitu iklim, geologi (batuan), tanah penutup dan vegetasi. Fenomena tekanan air pori dan pengaruhnya terhadap stabilitas bendungan tanah sudah sejak lama dikenal dan menjadi obyek penyelidikan tanah. Karena faktor aman atau stabilitas bendungan dipengaruhi kuat geser tanah kohesif maka pengetahuan tentang besarnya tekanan pori dalam hubungannya dengan beban yang bekerja serta fluktuasinya terhadap waktu, memainkan peranan penting. Berdasarkan alasan ini maka perlu dilakukan pengukuran mengenai besar dan fluktuasi tekanan air pori. Prakiraan tentang besarnya tekanan air pori yang akan terjadi juga sangat diperlakukan baik dalam tahap perencanaan maupun pemantauan stabilitas bendungan.*

**Kata-kata kunci :** *tekanan air pori, stabilitas bendungan, fluktuasi*

## 1. PENDAHULUAN

Jika tanah jenuh air dibebani dengan test triaksial tanpa terjadi pematasan air pori dari sampel tanah, maka tidak akan terjadi perubahan volume akibat tegangan-tegangan yang timbul, hal ini disebabkan modulus elastisitas masing-masing komponen tanah relatif besar ( $E_{\text{air}} = 4.8 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$ ). Dalam tahap ini beban hanya didukung oleh air pori sehingga menimbulkan tekanan air pori. Sebaliknya pada tanah yang jenuh sebagian pada kondisi yang sama akan timbul perubahan volume akibat kompresibilitas udara yang cukup besar. Tekanan air pori yang timbul lebih kecil dari pada kasus diatas karena sebagian beban didukung oleh struktur udara dan air sedangkan sisanya oleh struktur butiran tanah. Untuk semua kondisi pembebanan dan jenis tanah berlaku hubungan :

$$\sigma = \sigma' + \mu$$

Bila  $\sigma$  konstan maka  $\sigma'$  dan  $\mu$  (dalam kondisi tanpa pematasan) akan konstanta pula. Pada tanah dengan pematasan yang jenuh seluruhnya atau sebagai akan terjadi pengurangan volume sesuai jumlah air atau air + udara yang keluar. Tekanan air pori yang muncul pada saat pembebanan, akan berangsur-angsur turun dan beban bangunan akan berangsur-angsur didukung oleh struktur butiran tanah. Hal ini berarti bahwa penurunan tekanan air pori menyebabkan kenaikan tegangan efektif. Pada tanah granuler air pori mudah mengalir keluar sehingga seluruh beban bangunan akan segera didukung oleh struktur butiran tanah. Sedangkan pada tanah kohesif pematasan air pori berlangsung sangat lama sehingga pengalihan beban ke butiran terjadi secara lambat, waktu yang diperlukan untuk proses tersebut dikenal sebagai waktu konsolidasi. Pada awal perkembangan mekanika tanah

sudah cukup banyak tulisan yang membahas masalah tekanan air dan konsolidasi antara lain : Terzaghi (1923), Biot (1935), Florin (1951).

## 2. PENGARUH TEKANAN AIR PORI TERHADAP STABILITAS BENDUNGAN

Nilai kuat geser tanah selain ditentukan oleh kohesi (c) dan gaya gesek internal (  $\phi$  ) dipengaruhi pula oleh tekanan air pori sehingga nilainya tidak konstan. Karena stabilitas bendungan tanah dipengaruhi oleh kuat geser tanah maka besar dan fluktuasi tekanan air pori memainkan peranan penting. Tekanan air pori akan berpengaruh dalam hal-hal berikut :

1. Besarnya tegangan-tegangan yang terjadi di bawah bendungan.
2. Besarnya tegangan-tegangan yang terjadi dalam inti bendungan akibat redistribusi gaya-gaya berat.
3. Besarnya tegangan-tegangan yang terjadi dalam inti bendungan akibat penurunan muka air bendungan.
4. Kondisi tegangan pada talud.
5. Proses konsolidasi dan penurunan tubuh bendung.

Dengan penyelidikan sistematis tekanan air pori dan sifat – sifat phisis tanah maka dapat diperoleh faktor aman yang memadai dalam penghitungan. Sifat-sifat mekanis tanah diantaranya perubahan volume dan deformasi dipengaruhi oleh tegangan-tegangan efektif  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  dan  $\sigma_3$  apabila elemen tanah dibebani oleh tegangan-tegangan total  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  maka akan terjadi perubahan volume spesifik :

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{1 - 2\mu}{E} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 - 3\mu)$$

Besarnya tekana air pori dipengaruhi oleh waktu dan tergantung pula dari

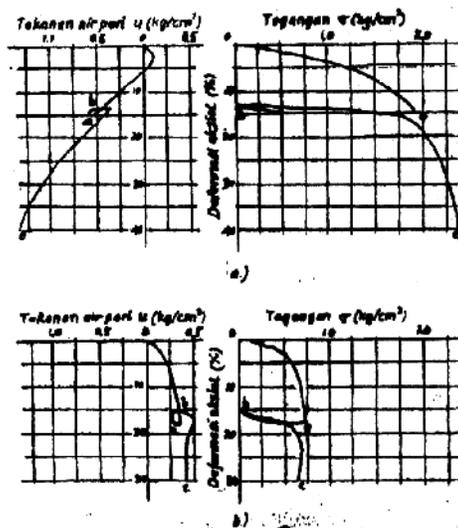
permeabilitas dan elastisitas struktur butiran tanah serta faktor-faktor lain. Pembebanan pada tanah pasir mengakibatkan air pori segera mengalir keluar sehingga tekanan air pori segera lenyap. Oleh karena itu seluruh beban segera didukung oleh struktur butiran tanah dan deformasi serta penurunan berlangsung seketika. Pada bangunan – bangunan yang dibangun di atas tanah granuler, penurunan seketika identik dengan penurunan akhir. Namun demikian jika diamati penurunannya relatif kecil terhadap penurunan seketika maka penyebabnya disini semata-mata adalah perilaku palstis material dan bukan disebabkan oleh tekanan air pori. Pada tanah kohesif akan terjadi penurunan primer yang kecepatannya dipengaruhi oleh permeabilitas tanah dan tekanan air pori. Air pori yang timbul akibat tekanan akan mematus perlahan – lahan yang menyebabkan terjadinya konsolidasi skunder. Pematusan air pori tersebut menyebabkan penurunan air pori terhadap perilaku penurunan tanah. Besar dan fluktuasi tekanan air pori tergantung dari kadar air, derajat kejenuhan, permeabilitas, derajat kepadatan, elastisitas, kemungkinan deformasi lateral, besarnya beban dan kecepatan pembebanan.

## 3. FENOMENA TEKANAN AIR PORI SISA

Secara umum dapat dibedakan dua macam tekanan air pori sisa yaitu :

1. pada juenis tanah yang tidak dapat menyerap atau mengeluarkan air maka pembebanan akan mengakibatkan pengurangan atau penambahan volume sehingga timbul tekanan air pori lebih atau tekanan air pori rendah. Pada lendutan balik tanah semacam ini hanya terjadi deformasi plastis. Akibat perubahan volume permanen akan timbul

fenomena tekanan air pori sisa bertekanan tinggi atau rendah seperti tersaji dalam gambar 1a, dalam tes triaksial tanah lempung terkonsolidasi lebih akan segera terjadi tekanan air pori rendah, yang menjelang kondisi patah timbul pula pengembangan volume tanah. Tekanan air pori rendah akan tetap bertahan selama terjadi proses lendutan balik dan fenomena tersebut disebabkan oleh sifat deformasi plastis tanah. Sedangkan pada tanah lempung terkonsolidasi normal atau akan fenomena tekanan air pori lebih dan penempatan volume tanah (gambar 1b).



Gambar 1. Tekanan air pori sisa akibat deformasi permanen.

2. Pada tes permeabilitas pertama kali akan terjadi aliran air dengan gradien tekanan tertentu. Jika gradien yang ada lebih kecil dari pada gradien tersebut maka disimpulkan bahwa tanah sampel kedap air. Sebaliknya pada sampel tanah kohesif dengan beban (p) tidak akan terjadi konsolidasi apabila gradien hidraulik air pori turun hingga nilai tertentu ( $i_0$ ). Gejala semacam ini merupakan manifestasi tekanan air pori

sisa yang hakekatnya berlawanan dengan teori konsolidasi Terzaghi.

#### 4. PERHITUNGAN TEKANAN AIR PORI UNTUK ANALISIS STABILITAS BENDUNGAN

Analisis stabilitas bendungan harus memperhatikan dua kondisi krisis yaitu pada saat pembangunan dan sewaktu terjadi penurunan muka air bendungan secara mendadak. Mengingat masa pembangunan bendungan relatif pendek di banding waktu konsolidasi, maka krisis tidak terjadi pematuan air pori dari inti bendungan sehingga pembebanan mengakibatkan tekanan air pori yang tinggi. Apabila kecepatan penurunan muka air bendungan lebih besar dari pada faktor permeabilitas metral bendungan maka akan bekerja tekanan aliran yang membahayakan stabilitas bendungan. Ada tiga macam metoda perhitungan tekanan air pori yang dikenal yaitu :

- \* Metode pembebanan dua sampel yang identik.
- \* Metode skempton bishaop.
- \* Metode bureau of reclamation.

Namun dalam tulisan ini hanya dibahas metode bureau of reclamation yang sudah populer dipakai. Metode ini mensyaratkan bahwa perubahan volume udara dalam massa tanah mengikuti hukum Boyle – Mariotte. Besarnya tekanan air pori efektif disajikan sebagai berikut

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{1 - 2\mu}{E} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 - 3\mu)$$

- $P_e$  = Tekanan air pori efektif
- $P_A$  = Tekanan atmosfer
- $V_{a0}$  = Volume udara yang terdapat pada tekanan  $P_0$ .

$V_{ac}$  = Volume udara yang dimampatkan pada tekanan air pori absolut.

$V_w$  = Volume air pori

$b$  = Kadar udara dalam air pori

## 5. PENGUKURAN TEKANAN AIR PORI PADA BENDUNGAN TANAH

Tujuan pengukuran tekanan air pori pada bendungan tanah antara lain :

- \* Mengontrol dan menghindari perbedaan nilai antara lain pori terhitung dan yang sesungguhnya terjadi.
- \* Untuk memantau stabilitas bendungan pada masa pembangunan maupun pelayanan.
- \* Pengumpulan data untuk evaluasi.

Metode yang lazim digunakan untuk mengukur tekanan air pori bendungan tanah adalah dari bureau of reclamation. Dalam cara ini dipasang alat ukur tekanan air pori pada beberapa titik yang berlainana elevasinya, yang dapat merekam tekanan air pori selama masa pembangunan dan masa pelayanan ( saat masa pengosongan air bendungan). Apabila tekanan air pori terukur lebih besar daripada hasil perhitungan maka laju pembangunan diperlambat atau untuk sementara dihentikan, bila perlu konstruksi talud bendungan dibuat lebih landai, sehingga angka aman dapat terjamin. Dalam contoh berikut akan dibahas pelaksanaan pengukuran tekanan air pori pada dua buah bendungan tanah.

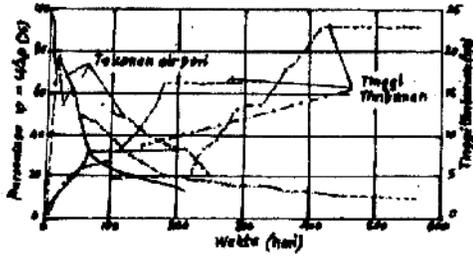


Gambar 2. Distribusi tekanan air pori dalam dam Green Mountain (USA)

Pada gambar 2 dapat dilihat hasil pengukuran tekanan air pori pada dam Green Mountain, Colorado dan hasilnya disajikan dalam bentuk distribusi tekanan air pori dalam tubuh bendung. Dam ini dibangun dalam tiga tahap masing-masing enam bulan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tekanan air pori sesuai dengan teori konsolidasi bertambah besar dalam masing-masing kurun waktu dari bagian tubuh dam dan yang sudah terkonstruksi ke arah dalam, dalam perkataan lain tekanan air semakin ke dalam semakin membesar.

Pada pembangunan dam Cobb, Australia dipasang alat pengukur tekanan air pori yang tersusun dalam tiga lapisan elevasi. Gambar 3 menunjukkan hubungan antara waktu dan ketinggian super posisi berdasarkan nivo masing-masing elevasi alat pengukur serta nilai rata-rata tekanan air pori terukur dari masing-masing lapis. Dari kurva tekanan air pori terlihat bahwa pada masing-masing bulan pertama pada waktu pengukuran tidak terdapat tanda-tanda yang jelas dari tekanan air pori.

Dari sini dapat disimpulkan bahwa alat pengukur tekanan air pori dapat dikarakteristikan dengan suatu faktor volume yang besar. Karena itu dalam pemakaian alat ini pada pembangunan bendungan tanah selanjutnya harus dipikirkan kondisi aman yang ada. Kurva tekanan air pori yang terukur untuk tiap-tiap tiga empat yang terukur berjalan secara asimptotis mendekati nilai yang sama, ini menunjukkan bahwa didalam tubuh dam terjadi tekanan air pori sisa.



Gambar 3. Fluktuasi tekanan air pori dalam dam Cobb (Australia)

## 6. KESIMPULAN

Formula perhitungan tekanan air pori tanah dari Bureau of Reclamation untuk kondisi tanah Undrained tidak sepenuhnya dapat diterapkan di lapangan, sehingga memerlukan pengujian dan perbaikan melalui penelitian khusus. Besar dan fluktuasi tekanan air pori pada tanah drained mempunyai peranan besar untuk perhitungan penurunan bendungan dari tanah kohesif. Mengingat masa pembangunan dam yang relatif pendek dibanding dengan waktu konsolidasi inti bendungan yang dibangun diatas tanah kedap air maka praktis tidak terjadi aliran air pori keluar dari inti sehingga tekanan air pori yang timbul pada kondisi undrained sangat berpengaruh untuk stabilitas bendungan. Besarnya tekanan air tanah dalam masa pembangunan sangat dipengaruhi khususnya oleh kadar air, derajat kejenuhan dan hasil pemadatan yang dicapai.

## DAFTAR PUSTAKA

Bureau of Reclamation (1951), *Earth manual designation*, E.24, P.284.

Donald, I.B. (1956), *Shear Strength measurements in unsaturated noncohesive soil with negative pore pressure*, proc. H. Australia New Zealand Conference Soil Mechanics., p.200

Hilf, J. W. (1943), *Estimating Construction pore pressure in rolled earth dams*, Proc. H. Intern Conf. Soil Mech. And Found. Eng. Ed. 3, p.234

Kalstenius, T., Wallgren, A. (1956). *Bore water pressure measurement in field*, Investigation, Proc. Konig. Scbwed. Geotecbn. Int. 13, Stockholm. 1956

Ridley, J. W. (1956), *Design and construction of earth dams in USA*, Proc. H. Australia New Zealand Conf. On Soil Mech. p. 93

## BIODATA PENULIS

Nama : Yuliman Ziliwu, ST  
 Temp/Tgl. Lhr : Nias, Ambukha 04 Juni 1966  
 Pendidikan : S1 Teknik Sipil 1994 Universitas Tunas Pembangunan Surakarta.  
 Pekerjaan : Tahun 1995 samapi sekarang Dosen Fakultas Teknik Universitas Tunas Pembangunan Surakarta.