

Seminar Nasional  
Teknik Sumber Daya Air 2010

# PROSIDING

**SEMINAR NASIONAL TEKNIK SUMBER DAYA AIR  
2010**

**TEMA  
PENINGKATAN KINERJA  
PENGELOLAAN SUMBER DAYA AIR  
DI WILAYAH SUNGAI**

**Selasa, 9 November 2010**

Tempat

Pusat Litbang Sumber Daya Air  
Gedung Utama Ruang Sidang Lantai-3  
Jalan Ir. H. Juanda No. 193  
Bandung 40135

**KERJASAMA**



HATI  
Cabang Bandung



Universitas  
Katolik Parahyangan



Institut Teknologi  
Nasional Bandung



Universitas  
Jenderal Achmad Yani



Pusat Litbang  
Sumber Daya Air

## Perpustakaan Nasional Republik Indonesia

Seminar Nasional Peningkatan kinerja pengelolaan sumber daya air di wilayah sungai : 09 November  
2010 : prosiding. Itenas Bandung : Jurusan Teknik Sipil Itenas, 2010.  
xxvi, 263 halaman; 21 x 29,7 cm.

ISBN 978 - 979 - 98539 - 9 - 8

1. Sumber Daya Air - Kongres

1. Judul

624.151.06

### PERUMUS

1. Agustin Purwanti
2. Waluyo Hatmoko
3. Indrijati Saptarita
4. Yanto Wibawa

*The statements and opinion expressed in the papers are those of the authors themselves and do not necessarily reflect the opinion of the editors and organizers. Any mention of company or trade name does not imply endorsement by organizers.*

ISBN 978 - 979 - 98539 - 9 - 8

Copyright © 2011. Jurusan Teknik Sipil Itenas Bandung.

Not to be commercially reproduced by any means without written permission.

Printed in Bandung, Indonesia, Januari 2011.

## ANALISIS STABILISASI LERENG AKIBAT PENGARUH REMBESAN AIR PADA TANGGUL HOMOGEN DENGAN UJI MODEL FISIK MENGUNAKAN PERANGKAT LUNAK GEO-SLOPE MODUL SLOPE/W

Andri Irawan

Peneliti Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Jl. P.H.H. Mustofa 23 Bandung

Yedida Yosananto

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Jl. P.H.H. Mustofa 23 Bandung

Imam Aschuri

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Jl. P.H.H. Mustofa 23 Bandung

### ABSTRAK

Persoalan longsor banyak dijumpai dalam rekayasa teknik sipil, salah satunya pada bendungan. Bendungan berfungsi sebagai penahan air, dan tubuh bendungan merupakan penahan rembesan air ke arah hilir serta penyangga tumpukan air tersebut dan rembesan memegang peranan penting dalam kestabilan lereng. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh rembesan air pada variasi ketinggian muka air yang di uji pada model fisik bendungan terhadap stabilitas lereng. Metode yang digunakan pada analisis stabilitas lereng ini adalah dengan menggunakan metode numerik dan analisis manual. Untuk metoda numerik digunakan perangkat lunak Geo-Slope, dan modul slope yang digunakan adalah modul Slope/w untuk analisis stabilitas lereng. Sedangkan perhitungan untuk analisis manual digunakan metoda Fillenius. Hasil nilai keamanan dari kedua metoda tersebut dibandingkan agar mengetahui seberapa besar perbedaan nilai keamanan dari kedua metoda tersebut. Dan hasil nilai keamanan dari kedua metoda tersebut terbukti tidak jauh berbeda, serta semakin tinggi muka air yang di uji semakin besar nilai keamanan pada lereng hulu, sedangkan pada lereng hilir nilai keamanan semakin kecil.

**Kata Kunci:** stabilitas lereng, rembesan air

### ABSTRACT

The problems of the landslide was often happened in the civil engineering, one of them on the dam. The dam functioned as kept water, And the dam body was kept water seepage to the side of lower as well the capacitance support of this water and seepage held the important role in the stability of the slope. The aim of this research was to know the influence of water seepage in the height variation of the water level that in the test in the physical model the dam towards the stability of the slope. The method that was used in the analysis of the slope stability using the numeric method and the analysis of the manual. For the numeric method was used software of Geo-Slope, and the module slope that was used the module of Slope/w for the analysis stability of the slope. Whereas the calculation was for the analysis of the manual used by the Fillenius method. Produced by the value of the security from the two methods was compared so that knew as big the difference the value of the security from the two methods. And produced by the value of the security from the two methods was proven was not far different, as well as increasingly high the water level that in the test was increasingly big the value of the security in the slope of the upstream, whereas in the lower slope the value of the security was increasingly small.

**Keyword:** slope stability, water seepage

## PENDAHULUAN

Hampir seluruh bidang teknik sipil selalu berkaitan dengan tanah, dimana tanah digunakan sebagai bahan konstruksi ataupun tempat diletaknya struktur. Semua struktur yang berada di atas tanah akan didukung oleh tanah dan batuan, dan sebagian pengaliran air bersih bergerak melalui tanah atau dikumpulkan melalui waduk atau bendungan.

Bendungan berfungsi sebagai penahan air ataupun pengangkat permukaan air di dalam suatu waduk, maka secara garis besarnya tubuh bendungan merupakan penahan rembesan air ke arah hilir serta penyangga tumpukan air tersebut. Pembangunan serta beroperasinya bendungan tentunya dapat menimbulkan berbagai dampak. Untuk mencegah dampak yang diperkirakan dapat terjadi maka diperlukan berbagai analisis struktural, salah satunya analisis yang berhubungan dalam bidang geoteknik karena merupakan analisis yang berhubungan dengan keselamatan masyarakat yang tinggal disekitar bendungan. Analisis stabilitas lereng akibat rembesan air pada bendungan merupakan kajian yang akan dibahas.

## MAKSUD DAN TUJUAN

Maksud dari penulisan dan penelitian tugas akhir ini adalah untuk menganalisis stabilitas lereng akibat pengaruh rembesan air dengan membuat pemodelan menggunakan software yaitu software *Geo-slope*, serta verifikasi perhitungan secara manual dengan metoda *Fellenius*, sedangkan untuk perhitungan garis *phreatic* air menggunakan metoda *Cassagrande*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh rembesan air terhadap lereng dengan menggunakan software serta memvalidasi perhitungan secara manual.

## MANFAAT PENELITIAN

Berdasarkan pada latar belakang dan tujuan yang telah diuraikan sebelumnya, maka penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan yang berharga khususnya dalam bidang geoteknik.

- 1) Mengetahui perbedaan garis *Phreatic* pada uji model fisik dengan teori *Cassagrande*.
- 2) Dengan penggunaan software *Geo-Slope* analisis kestabilan lereng dapat dilakukan dengan lebih cermat sehingga dapat mengurangi tingkat kegagalan yang mungkin terjadi dan dapat mempercepat proses analisis.

## METODE PENELITIAN

### Pemilihan Jenis Tanah

Tahapan ini merupakan penentuan jenis tanah yang akan digunakan pada uji model fisik. Pemilihan ini berdasarkan ketersediaan bahan baku dan sifat tanah yang memenuhi spesifikasi yang diinginkan.

### Uji Mekanika Tanah di Laboratorium

Pada tahap ini yaitu proses pengujian sampel tanah yang akan digunakan. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kadar air, berat jenis, berat isi, *Constant Head*, dan *direct shear*.

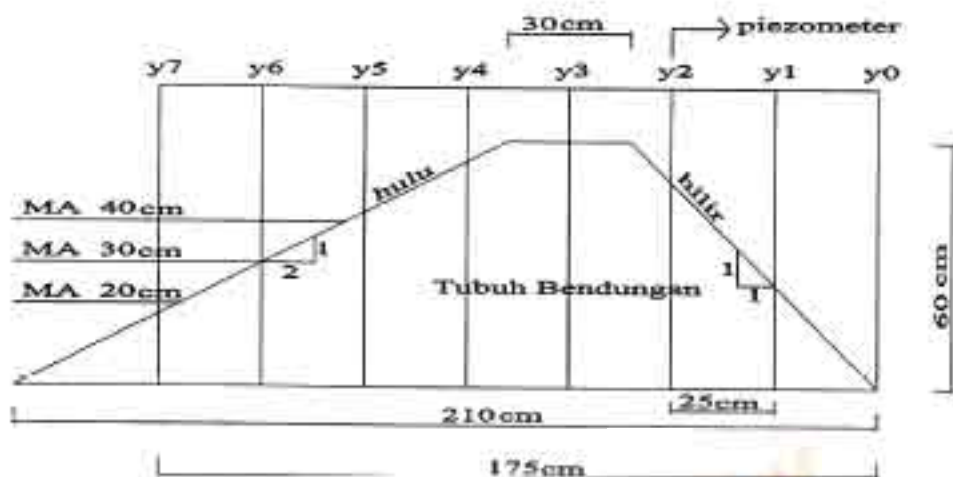
### Pembuatan Model Fisik

Tahap pembuatan model fisik ini yaitu tahapan pelaksanaan dari pembuatan rangka model dengan mengikuti acuan dari perencanaan yang sudah ada, misalnya pemasangan rangka baja, pemasangan kaca dan pipa pipa piezometer, serta pemodelan bendungan dengan skala yang sudah ditetapkan. Pemodelan struktur bendungan dengan skala yang sudah ditetapkan yaitu 1 : 10, dengan skala tersebut pemodelan bendungan memiliki dimensi yaitu:

Panjang bendungan : 210 cm  
Tinggi bendungan : 60 cm

Lebar mercu : 30 cm  
Kemiringan hulu : 1 : 2  
Kemiringan hilir : 1 : 1

Model fisik diperlihatkan pada Gambar-1 dan 2.



Gambar 1. Perencanaan Model Fisik.



Gambar 2. Penerapan Model Fisik.

#### Uji Model Fisik

Pada tahap ini, model fisik berupa bendungan telah siap dan dialiri air dengan ketinggian muka air yang bervariasi. Pada uji model fisik ini akan diperoleh data data berupa debit rembesan, debit inflow dan debit outflow serta garis phreatic yang terbaca di piezometer.

Pengujian dengan cara mengaliri air dengan ketinggian air 20 cm, 30 cm, dan 40 cm. Pada variasi ketinggian muka air yang berbeda-beda akan di dapatkan data garis Phreatic yang terukur dari tiap piezometer. Kemudian dibandingkan antara hasil pengamatan dengan teori Cassagrande.

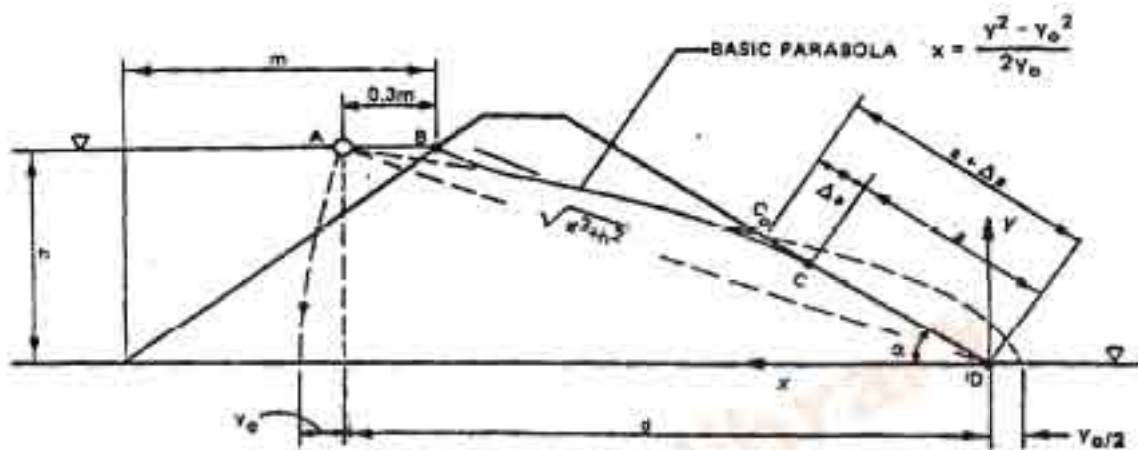
#### Teori Cassagrande

Garis Phreatic yang terjadi pada tubuh tanggul akibat tumpukan air waduk dalam hal ini mengakibatkan terjadi adanya air filtrasi yang mengalir melalui celah-celah antara butiran-butiran bahan timbunan tanah pembentuk

tanggul. Untuk menghindari hal tersebut tubuh tanggul diharuskan mampu mempertahankan diri terhadap gaya-gaya yang ditimbulkan oleh adanya air filtrasi yang mengalir itu. Untuk mengetahui kemampuan daya tahan tubuh tanggul terhadap gaya-gaya tersebut perlu penelitian sebagai berikut:

- 1) Formasi garis *phreatic* dalam tubuh tanggul dengan elevasi tertentu permukaan air waduk yang direncanakan.
- 2) Kapasitas air filtrasi yang mengalir melalui tubuh tanggul (debit rembesan).
- 3) Kemungkinan terjadi gejala *sufosi* yang disebabkan oleh gaya-gaya hidrodinamis dalam aliran air filtrasi.

Untuk mengetahuinya yaitu dengan mendapatkan formasi garis *phreatic* tubuh tanggul dan membuat jaringan trayektori aliran filtrasi dapat diperoleh dengan metode *Cassagrande*.



Gambar 3. Garis *phreatic* Pada Tubuh Tanggul

Dengan:

$$y = \sqrt{2 \cdot y_0 \cdot x + y_0^2}$$

$$y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d$$

$h$  = Tinggi muka air

$x$  = Jarak dari ujung hilir ke piezometer

$d$  = Jarak titik D ke titik A

Akan tetapi garis parabola yang diperoleh dari persamaan tersebut bukanlah garis *phreatic* yang sesungguhnya. masih diperlukan penyesuaian-penyesuaian.

#### Prosedur Perancangan dan Analisis Stabilitas Lereng dengan Menggunakan Slope/w

Secara garis besar, prosedur penggunaan slope/w adalah sebagai berikut:

- 1) Mendefinisikan permasalahan yang ada
- 2) Menentukan daerah kerja, daerah kerja adalah ukuran ruang untuk menggambarkan permasalahan yang ada. Daerah kerja mungkin lebih kecil, sama atau lebih besar dari halaman pencetak. Jika daerah kerja lebih besar dari halaman pencetak, masalah akan terjadi saat dicetak.
- 3) Menentukan skala dan mengatur spasi *grid*. Penggambaran permasalahan yang ada harus menggunakan skala, pengaturan spasi *grid* diperlukan untuk mempermudah penggambaran.
- 4) Membuat sketsa dalam bentuk gambar.
- 5) Menentukan tipe analisis.
- 6) Menentukan parameter tanah.
- 7) Menentukan elevasi muka air.

- 8) Menentukan daerah radius kelongsoran.
- 9) Menentukan radius kelongsoran di permukaan.
- 10) Pengecekan atau verifikasi permasalahan, permasalahan yang ada perlu dipastikan oleh slope/w bahwa data telah digambarkan dengan tepat
- 11) Keluaran beberapa kontur dari faktor keamanan lereng, sehingga dapat diperoleh faktor keamanan terkecil.

#### Perangkat Lunak (Software)

Pendekatan fungsional dan struktural memerlukan perangkat lunak (*software*). *Software* yang digunakan untuk penilaian ini adalah *Geo-Slope*. Pada *software Geo-Slope* terdapat beberapa modul untuk menganalisis berbagai permasalahan yang ditinjau. Penelitian ini meninjau stabilitas lereng, sehingga modul *Geo-Slope* yang digunakan yaitu modul *slope/w*.

#### SLOPE/W

*Slope/w* adalah suatu program yang digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng. Dengan menggunakan teori kestabilan untuk menghitung faktor keamanan dan kemiringan lereng, perumusan *slope/w* menyeluruh memungkinkan untuk dengan mudah meneliti kedua-duanya yang sederhana, dan permasalahan stabilitas lereng kompleks menggunakan berbagai metoda untuk mengkalkulasi faktor keamanan. *Slope/w* mempunyai aplikasi di dalam analisis dan desain untuk geoteknik, sipil, dan proyek rancang-bangun.

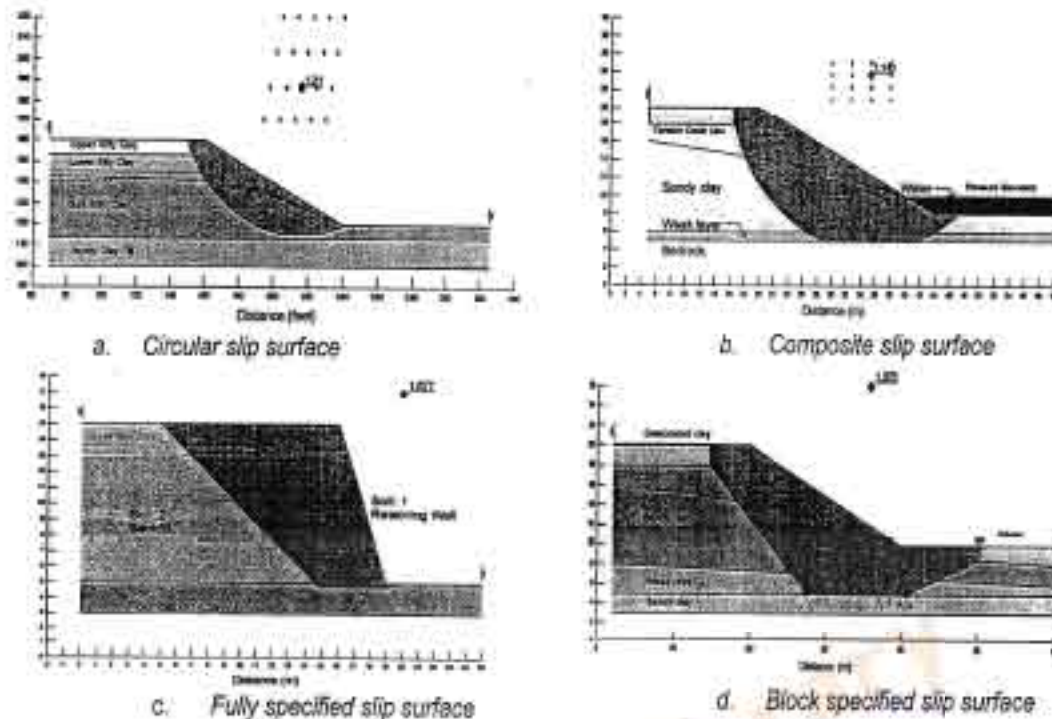
Di dalam program *slope/w* dapat digunakan berbagai metode analisis stabilitas sesuai dengan keinginan pengguna. *Slope/w* dapat meneliti probabilitas dari stabilitas lereng, yang berfungsi untuk menghitung variabilitas dan ketidakpastian yang berhubungan dengan parameter dalam masukan analisis. Suatu analisis probabilitas mengijinkan untuk secara statistik mengukur kemungkinan kegagalan suatu lereng. Hasil dari semua percobaan bisa digunakan untuk menghitung kemungkinan kegagalan dan menghasilkan fungsi distribusi dan faktor keamanan. Variabilitas dapat dipertimbangkan untuk parameter material seperti berat/beban unit, kohesi dan sudut geser tanah, kondisi tegangan air pori, beban garis yang diterapkan, dan koefisien gempa.

*Slope/w* dapat digunakan untuk memodelkan suatu geometri lereng dan stratigraphi yang luas seperti berbagai jenis tanah, *partial submergence* di dalam air, ketebalan variabel dan *discontinous* tanah. *Slp* yang dapat dimodelkan dengan menggunakan *slope/w*, antara lain:

- 1) *Circular slip surface*
- 2) *Curved slip surface*
- 3) *Fully specified slip surface*
- 4) *Block specified slip surface*

*Slope/w* menyediakan banyak pilihan untuk menetapkan kondisi tekanan air pori. Tekanan air pori dapat digambarkan mengikuti:

- 1) Koefisien tekanan air pori. Koefisien tekanan air pori yang klasik ( $r_u$ ) yang menghubungkan permukaan tanah dengan tekanan air tanah, dapat ditetapkan untuk masing-masing jenis tanah.
- 2) Permukaan *Piezometer*. Cara yang paling mudah untuk menetapkan kondisi tekanan air tanah adalah menggambarkan suatu permukaan *piezometer* melalui daerah masalah.
- 3) *Finite element* menghitung tekanan pori. *Slope/w* mempunyai kemampuan untuk meng-import tekanan air pori yang telah dihitung oleh *seep/w*, *vadose/w* atau *sigma/w*. Kemampuan ini terutama bermanfaat untuk meneliti stabilitas lereng dengan kondisi aliran tanah *transient* atau *significantly affected* yang dipengaruhi oleh status tekanan di dalam tanah.
- 4) Kontur tekanan air tanah. Jika sekeliling distribusi tekanan air tanah diketahui, misal dari pengamatan bidang atau beberapa jenis pemodelan rembesan, dapat digunakan untuk menetapkan kondisi tekanan air tanah dalam suatu analisis stabilitas lereng.



Gambar 4 Slip yang dapat dimodelkan dengan menggunakan slope/w

#### Tahap Verifikasi Perhitungan Secara Manual

Dengan data yang sama dengan analisis secara modal numerik, dilakukan perhitungan secara manual untuk stabilitas lereng, perhitungan manual dibatasi pada kondisi muka air 40 cm dan pada saat *sudden drawdown*.

##### 1) METODE NUMERIK

Dan data parameter tanah dan hasil perhitungan garis *phreatic* didapat hasil nilai keamanan stabilitas lereng. Nilai keamanan stabilitas lereng yang dihitung adalah untuk lereng hulu dan hilir dengan tinggi muka air 20 cm, 30 cm, dan 40 cm.

##### 2) METODE NUMERIK

Pada analisis manual tidak jauh berbeda dengan menggunakan metode numerik, pada dasarnya kedua metode tersebut sama sama menghitung angka keamanan suatu lereng. Pada analisis manual menggunakan metode *fillenius*.

Dengan tujuan yang sudah dijelaskan pada pendahuluan di atas bahwa analisis manual hanya untuk memvalidasi nilai keamanan yang sudah didapat pada metode numerik, jadi metode manual hanya menghitung angka keamanan pada kondisi muka air 40 cm dan pada saat kondisi *sudden drawdown* berdasarkan garis *phreatic* yang didapat dari hasil pengamatan.

Berikut adalah persamaan yang dipakai untuk menghitung nilai keamanan:

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^n L_i \cdot c' + (W_i \cdot \cos \alpha_i - U_i \cdot L_i) \tan \phi'}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot \sin \alpha_i}$$



## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap analisis ini adalah menghitung kembali data garis *Phreatic* yang sudah ada dengan metode *Cassagrande*. Data garis *Phreatic* yang diperoleh dari variasi tinggi muka air hasil pengamatan dan dari hasil metode *Cassagrande*, serta data parameter tanah yang di dapat dari hasil pengujian nantinya akan menjadi input untuk perhitungan stabilitas lereng. Metode untuk menghitung analisis stabilitas lereng ini adalah dengan menggunakan metode numerik, dan memvalidasi kembali secara manual. Metode numerik yang di pakai adalah software *Geo-slope* modul *slope/w*, sedangkan untuk perhitungan manual menggunakan metode *Fellenius*.

### Parameter Tanah Tubuh Tanggul

Perolehan data-data tanah diperoleh dari hasil penelitian di laboratorium Mekanika Tanah Institut Teknologi Nasional. Adapun parameter tubuh tanggul pada pemodelan antara lain:

- $\gamma_n = 1,69 \text{ gr/cm}^3 = 16,9 \text{ kN/m}^3$
- $\gamma_k = 1,375 \text{ gr/cm}^3 = 13,75 \text{ kN/m}^3$
- $\gamma_{sat} = 1,8 \text{ gr/cm}^3 = 18 \text{ kN/m}^3$
- $\gamma' = 0,82 \text{ gr/cm}^3 = 8,2 \text{ kN/m}^3$
- $k = 0,010639 \text{ cm/dt}$
- $\phi = 28^\circ$
- Kadar Air (w) = 22,90 %
- $G_s = 2,558$
- $c = 0,096 \text{ kg/m}^2 = 9,6 \text{ kN/m}^2$

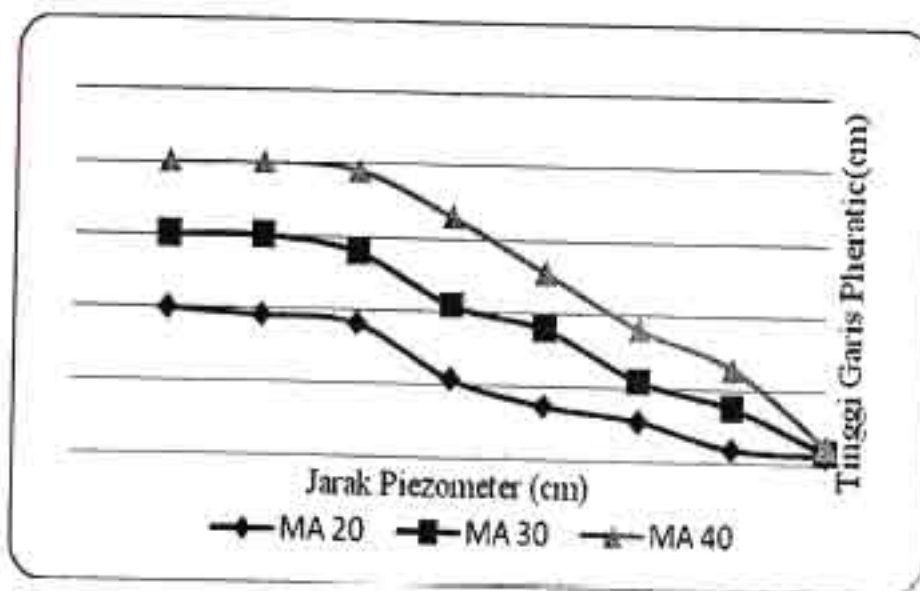
### Data Garis *Phreatic*

Ketinggian muka air dibuat pada tubuh tanggul dengan variasi ketinggian yang berbeda-beda antara lain : 20 cm, 30 cm, dan 40 cm. Pada setiap pengaliran air dengan berbagai tingkat ketinggian diperoleh garis *phreatic* yang terlihat pada model fisik. Pada Tabel-1 tertera tinggi muka air yang terukur pada tiap *piezometer* dari hasil pengamatan pemodelan.

Tabel 1 Data Ketinggian Muka Air pada *Piezometer*

Muka Air Hulu (cm)	Muka Air <i>Piezometer</i> (cm)	Jarak Antar <i>Piezometer</i> (cm)		
20	$y_7$	20	$x_7$	175
	$y_6$	19,2	$x_6$	150
	$y_5$	18,3	$x_5$	125
	$y_4$	10,9	$x_4$	100
	$y_3$	7,4	$x_3$	75
	$y_2$	5,5	$x_2$	50
	$y_1$	1,9	$x_1$	25
	$y_0$	1,1	$x_0$	0
30	$y_7$	30	$x_7$	175
	$y_6$	30	$x_6$	150
	$y_5$	28	$x_5$	125
	$y_4$	21	$x_4$	100
	$y_3$	18	$x_3$	75
	$y_2$	11	$x_2$	50
	$y_1$	7,5	$x_1$	25
	$y_0$	1,5	$x_0$	0
40	$y_7$	40	$x_7$	175
	$y_6$	40	$x_6$	150
	$y_5$	39	$x_5$	125
	$y_4$	33	$x_4$	100
	$y_3$	25,7	$x_3$	75
	$y_2$	18,2	$x_2$	50
	$y_1$	13	$x_1$	25
	$y_0$	2,5	$x_0$	0

Sumber data pengamatan



Gambar 5 Garis Phreatic Pengamatan Model Fisik

#### Analisis Data

Berdasarkan data-data yang sudah didapat dari hasil laboratorium dan percobaan, dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan garis phreatic muka air dari model fisik, garis phreatic muka air berdasarkan metoda Cassagrande, dan nilai kritis dari stabilitas lereng.

#### Perhitungan Garis Phreatic

##### Garis Phreatic Metode Cassagrande

Data diperoleh berdasarkan perhitungan persamaan umum garis phreatic yang terdapat pada rumus (2.8) dan (2.9).

Berikut ini adalah persamaan yang didapat berdasarkan pada ketinggian muka air:

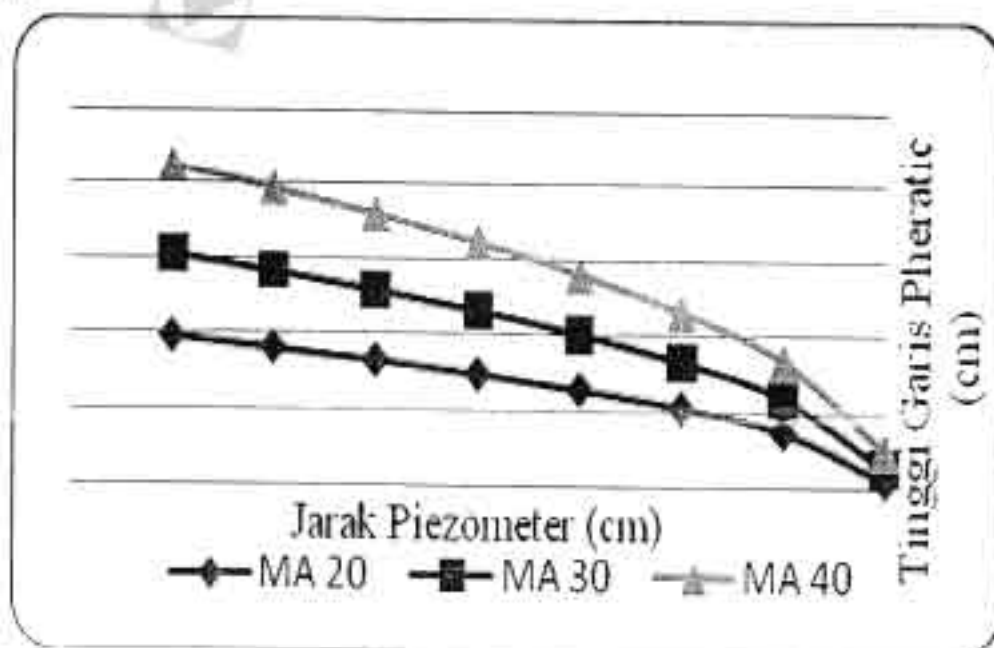
- 1) Muka Air 20 cm :  $y = (2,1912x + 1,2003)^2$
- 2) Muka Air 30 cm :  $y = (5,314x + 7,059)^2$
- 3) Muka Air 40 cm :  $y = (10,22x + 26,1121)^2$

Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel-2 di bawa ini.

**Tabel 2** Data muka air berdasarkan Metode Cassagrande

Muka Air Hulu (cm)	Muka Air Piezometer (cm)	Jarak Antar Piezometer (cm)
20	$y_0$	1,0956
	$y_1$	7,482
	$y_2$	10,5242
	$y_3$	12,8662
	$y_4$	14,8431
	$y_5$	16,5861
	$y_6$	18,1626
	$y_7$	19,6127
30	$y_0$	2,657
	$y_1$	11,828
	$y_2$	16,515
	$y_3$	20,139
	$y_4$	23,204
	$y_5$	25,909
	$y_6$	28,357
	$y_7$	30,61
40	$y_0$	5,11
	$y_1$	16,7813
	$y_2$	23,1756
	$y_3$	28,1534
	$y_4$	32,3745
	$y_5$	36,1055
	$y_6$	39,485
	$y_7$	42,59

Gabungan dari ketiga garis phreatic berdasarkan Metode Cassagrande dapat dilihat pada Gambar-6 di bawah ini.



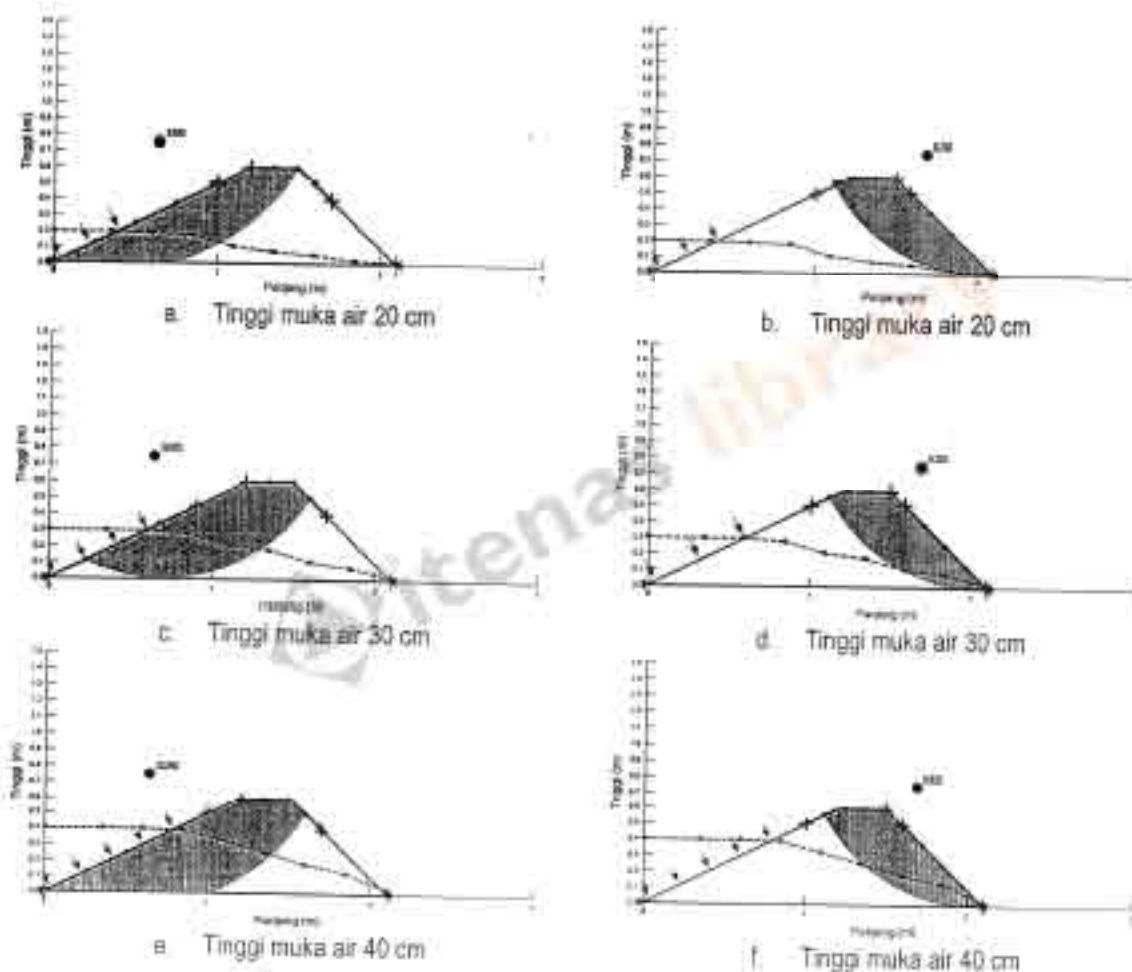
**Gambar 6** Grafik garis Phreatic berdasarkan metoda Cassagrande

### Pemodelan Bendungan dengan menggunakan Software Geo-Slope Modul Slope/w

Parameter yang dibutuhkan dalam pemodelan bendungan dengan menggunakan slope/w yaitu :  
 $\gamma_s = 16,9 \text{ kN/m}^3$        $c = 9,6 \text{ kN/m}^2$        $\phi = 28^\circ$

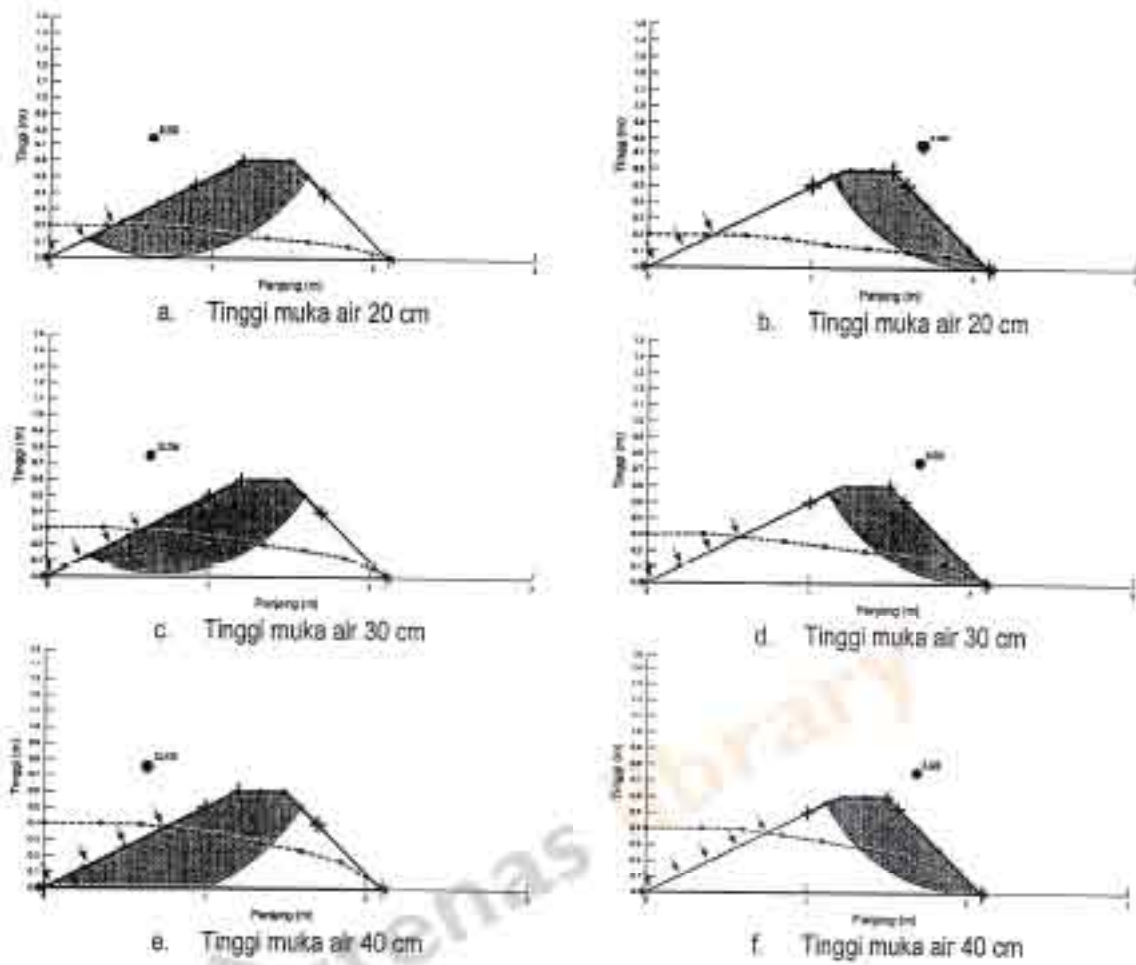
Metoda analisis yang dipilih untuk digunakan dalam slope/w adalah metoda Bishop. Pemodelan bendungan dengan menggunakan slope/w dimodelkan untuk lereng hulu dan lereng hilir dengan hasil garis *phreatic* yang didapat dari pengamatan, teori, dan persamaan dari pengamatan untuk muka air 20 cm, 30 cm, dan 40 cm, dan pada kondisi *sudden drawdown*.

Adapun pemodelan dan hasil analisis bendungan dengan menggunakan slope/w berdasarkan garis *phreatic* hasil pengamatan



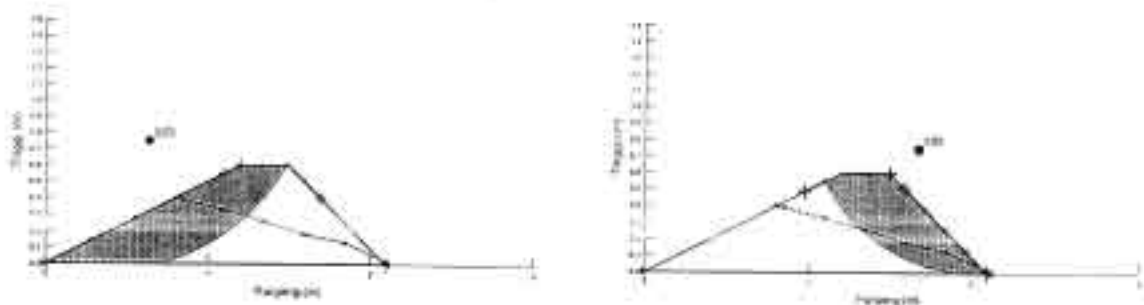
Gambar 7 Pemodelan kestabilan lereng hulu dengan menggunakan slope/w

Adapun pemodelan dan hasil analisis bendungan dengan menggunakan slope/w dengan garis *phreatic* yang didapat dari metode Cassagrande



Gambar 8 Permodelan kestabilan lereng Hulu dengan menggunakan slope/w dengan garis phreatic yang didapat dari teori Casagrande

Adapun nilai faktor keamanan pada kondisi Sudden Drawdown pada muka air 40 cm



Gambar 9 Permodelan kestabilan lereng Hulu dan hilir dengan menggunakan slope/w pada kondisi Sudden drawdown

Rekapitulasi hasil dari kestabilan lereng dengan menggunakan *slope/w* dapat dilihat di Tabel-3.

**Tabel 3 Rekapitulasi Perhitungan kestabilan lereng dengan *slope/w***

Kondisi	SF Lereng (garis Phreatic hasil pengamatan)				SF Lereng (garis Phreatic hasil teori Casagrande)				SF Lereng (garis Phreatic hasil pengamatan)			
	Hulu	Koordinat (m)	Hilir	Koordinat (m)	Hulu	Koordinat (m)	Hilir	Koordinat (m)	Hulu	Koordinat (m)	Hilir	Koordinat (m)
Tanpa Air	8,318	x = 0,368 y = 1,276 r = 1,319	6,73 5	x = 2,049 y = 1,052 r = 1,053	-	-	-	-	-	-	-	-
0,2 (m)	9,863	x = 0,353 y = 1,279 r = 1,326	6,73 3	x = 2,049 y = 1,052 r = 1,054	9,707	x = 0,687 y = 1,088 r = 1,08	6,89	x = 2,054 y = 1,054 r = 1,055	9,876	x = 0,355 y = 1,28 r = 1,328	6,737	x = 2,054 y = 1,053 r = 1,054
0,3 (m)	10,53 1	x = 0,690 y = 1,086 r = 1,079	6,70 0	x = 2,055 y = 1,054 r = 1,055	10,76 4	x = 0,713 y = 1,073 r = 1,063	6,634	x = 2,050 y = 1,053 r = 1,054	10,738	x = 0,71 y = 1,075 r = 1,065	6,699	x = 2,059 y = 1,056 r = 1,056
0,4 (m)	12,54 2	x = 0,505 y = 1,192 r = 1,292	6,61 3	x = 2,054 y = 1,054 r = 1,055	12,46 7	x = 0,503 y = 1,053 r = 1,054	6,528	x = 2,051 y = 1,053 r = 1,054	12,519	x = 0,503 y = 1,191 r = 1,295	6,621	x = 2,059 y = 1,057 r = 1,056
Sudden Drawdown	9,075	x = 0,354 y = 1,277 r = 1,324	6,56 2	x = 2,024 y = 1,047 r = 1,049	-	-	-	-	-	-	-	-

**1) METODE NUMERIK**

Dari data parameter tanah dan hasil perhitungan garis phreatic didapat hasil nilai keamanan stabilitas lereng. Nilai keamanan stabilitas lereng yang dihitung adalah untuk lereng hulu dan hilir dengan tinggi muka air 20 cm, 30 cm, dan 40 cm. Hasil nilai keamanan yang didapat dari metode numerik ini memiliki SF = 12,542 dengan pusat titik slip berada pada koordinat X = 0,713, Y = 1,073, dan memiliki jari jari R = 1,054.

**2) METODE NUMERIK**

Pada analisis manual tidak jauh berbeda dengan menggunakan metode numerik, pada dasarnya kedua metode tersebut sama sama menghitung angka keamanan suatu lereng. Pada analisis manual menggunakan metode *fillenut*.

Dengan tujuan yang sudah dijelaskan pada pendahuluan di atas bahwa analisis manual hanya untuk memvalidasi nilai keamanan yang sudah didapat pada metode numerik, jadi metode manual hanya menghitung angka keamanan pada kondisi muka air 40 cm dan pada saat kondisi sudden drawdown berdasarkan garis phreatic yang didapat dari hasil pengamatan.

**Tabel 4 Hasil Manual Analisis Stabilitas Lereng**

Kondisi	SF			
	Hulu	Koordinat (m)	Hilir	Koordinat (m)
Muka air 40 cm	13,3454	x = 0,505 y = 1,192 r = 1,292	6,3271	x = 2,054 y = 1,054 r = 1,055
Sudden Drawdown	8,1955	x = 0,354 y = 1,277 r = 1,324	6,5972	x = 2,024 y = 1,047 r = 1,049

Tabel 5 Perbandingan antara Perhitungan slope/w dan Manual

Kondisi	SF (Software)		Manual (Fillenius)	
	Hulu	Hilir	Hulu	Hilir
MA 40	12,542	6,613	13,3454	6,3271
Sudden Drawdown	9,075	6,562	8,1955	6,5972

## KESIMPULAN

1. Perbandingan garis *phreatic* yang didapat dari hasil pengamatan dan metode cassagrande tidak jauh berbeda, semakin tinggi muka air di hulu bendungan, garis *phreatic* hasil pengamatan semakin mendekati garis *phreatic* hasil teori cassagrande.
2. Pengaruh rembesan dan tinggi muka air pada lereng berpengaruh pada nilai keamanan bendungan, semakin tinggi muka air di hulu semakin besar pula nilai keamanan lereng bendungan.
3. Secara garis besar metode Cassagrande dapat digunakan sebagai penganalisis garis *phreatic* untuk bendungan tipe urugan homogen.

## DAFTAR PUSTAKA

- 1) Abramson, L.W, 2002, *Slope Stability and Stabilization Methods*, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- 2) Craig, R.F, 1991, *Mekanika Tanah*, Edisi Keempat, Alih Bahasa Dr. Ir. Budi Susilo Soepandji, Penerbit Erlangga Jakarta.
- 3) Das, B.M, 1995, *Mekanika Tanah Jilid 2*, Alih Bahasa Ir. Noor Endah Mochtar M.Sc., Ph.D., Penerbit Erlangga Jakarta.
- 4) Djatmiko Soedarmo, G, 2001, *Mekanika Tanah 2*, Penerbit Kanisius.
- 5) Geostudio 2008 Tutorial Manual. [www.geoslope.com](http://www.geoslope.com).
- 6) Sengara I.W, *Workshop Sertifikasi (G-1) Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia, Volume 2*, Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia.
- 7) Soedibyo, 2003, *Teknik Bendungan*, Jakarta : Penerbit Erlangga.