

**ANALISIS STABILITAS TUBUH BENDUNGAN PADA BENDUNGAN GONDANG
KABUPATEN KARANGANYAR****Renaningsih¹, Agus Susanto², Bangun Aditama^{3*}**^{1,2,3} Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. Ahmad Yani Pabelan, Kartasura, Tromol Pos 1, Surakarta, Jawa Tengah

*Email: bangunaditama21@gmail.com

Abstrak

Bendungan sebagai bangunan yang menampung dan menahan air guna memenuhi berbagai kebutuhan masyarakat harus direncanakan dengan baik dengan bahan-bahan pembentuk tubuh bendungan yang harus memenuhi persyaratan tertentu. Pembangunan bendungan Gondang yang terletak di Kabupaten Karangayar, Provinsi Jawa Tengah merupakan bendungan tipe urugan. Agar bendungan tersebut dapat beroperasi dengan baik maka perlu diketahui keamanan bendungan apakah sudah sesuai dengan yang diharapkan. Mengingat pentingnya peran bendungan tersebut, maka penulis melakukan studi karakteristik bahan timbunan tubuh bendungan dan menganalisis stabilitas lereng tubuh bendungan. Hasil studi penerimaan material inti Bobakan dan Gempolan tidak memenuhi kriteria gradasi, maka perlu adanya perbaikan gradasi dengan cara menambah tanah pada fraksi tertentu yang dianggap kurang baik. Tahapan analisis stabilitas tubuh bendungan dilakukan pemodelan menggunakan Geoslope untuk memperoleh angka keamanan. Hasil analisis Geoslope menunjukkan bahwa bagian hulu dan hilir bendungan menghasilkan nilai $FS > 1,2$ dan adanya pengaruh gempa menghasilkan $FS > 1$, dengan demikian bendungan dinyatakan aman kestabilannya pada kondisi setelah selesai konstruksi (tanpa genangan air), muka air normal, muka air banjir, rapid draw down dan adanya pengaruh gempa pada $Y/h : 0,25; 0,50; 0,75; 1,00$.

Kata kunci: angka keamanan, bahan timbunan, bendungan, geoslope, stabilitas

PENDAHULUAN

Pembangunan bendungan Gondang yang terletak di Kabupaten Karangayar, Provinsi Jawa Tengah merupakan bendungan tipe urugan, agar bendungan tersebut dapat beroperasi dengan baik maka perlu diketahui keamanan bendungan apakah sudah sesuai dengan yang diharapkan ketika telah beroperasi. Keruntuhan suatu bendungan urugan biasanya dimulai dengan adanya suatu gejala kelongsoran pada tubuh bendungan yang disebabkan kurang memadainya stabilitas tubuh bendungan tersebut. Oleh karena itu, perlu adanya tinjauan karakteristik bahan tanah timbunan dan keamanan tubuh bendungan.

Beberapa faktor yang diperkirakan akan berpengaruh terhadap stabilitas lereng tubuh bendungan yaitu ketika bendungan telah selesai konstruksi (tanpa genangan air), ketika bendungan beroperasi dengan kondisi muka air normal, ketika muka air banjir, ketika bendungan mengalami kondisi surut cepat (*rapid draw down*) dan adanya pengaruh gempa.

Analisis stabilitas lereng tubuh bendungan dilakukan dengan menggunakan program aplikasi *GEOSLOPE (SLOPE/W)*. Hasil dari pemodelan lereng tubuh bendungan yaitu nilai angka keamanan.

METODELOGI**Pengumpulan Data**

Data-data dasar yang digunakan dalam pengerjaan yaitu data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dari hasil penelitian dan data sekunder diperoleh dari detail desain proyek pembangunan bendungan Gondang. Adapun data yang diperlukan dalam analisis program *GeoSlope* yaitu : *cross section* B3 Bendungan untuk hulu, *cross Section* B8 Bendungan untuk hilir, *unit weight* (γ), *cohesion* (c), *friction Angle* (ϕ), elevasi muka air, koefisien gempa.

Lokasi Penelitian

Lokasi bendungan Gondang sebagai objek penelitian terletak di sungai Sragen/Garuda/Melikan yang secara administratif terletak di Desa Ganten dan Desa Gempolan, Kecamatan Kerjo, Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah.



Gambar 1. Peta lokasi bendungan Gondang

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan sebagai benda uji adalah sampel tanah untuk bahan timbunan zona inti diambil dari *borrow area* Gempolan, Bobakan dan sampel tanah untuk bahan timbunan zona random diambil dari *borrow area* Gempolan, Manduk.

Tahap Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi 4 tahap, pada tahap pertama yang dilakukan yaitu studi literatur, pengambilan sampel tanah pada zona inti dan zona random serta pengambilan data sekunder pada zona random, zona filter, rip-rap dan pondasi.

Selanjutnya tahap kedua yaitu pengujian tanah sampel yang diambil. Zona inti dan random diuji kadar air, batas Atterberg dan analisa saringan. Khusus zona inti dilakukan pengujian berat jenis, uji standart proctor dan *Direct Shear Test* untuk mendapatkan nilai γ , c , ϕ .

Setelah didapatkan nilai γ , c , ϕ dari zona inti, zona random, zona filter, rip-rap dan pondasi maka dilakukan pemodelan bendungan menggunakan *Geoslope* dengan kondisi setelah selesai konstruksi (tanpa genangan air), kondisi muka air normal, kondisi muka air banjir, akibat adanya *rapid draw down* dan pengaruh gempa.

Kemudian menganalisa stabilitas lereng tubuh bendungan yang menghasilkan nilai Faktor keamanan lereng tubuh bendungan. Setelah itu melakukan pembahasan dari hasil pengujian yang didapat dari tahap-tahapan tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Sifat Fisis Tanah

Kadar Air

Tabel 1. Kadar air

Parameter	Disturb Sample	
	Inti Gempolan	Inti Bobakan
Kadar Air	12,51 %	14,49 %

Uji berat jenis butiran tanah

Tabel 2. Berat jenis butiran tanah

Parameter	Disturb Sample	
	Inti Gempolan	Inti Bobakan
Berat jenis	2,7	2,7

Berdasarkan hasil uji berat jenis butiran tanah diperoleh nilai 2,7 maka menurut Hardiyatmo, 2017 tanah tersebut termasuk golongan Lempung anorganik.

Uji batas-batas Atteberg

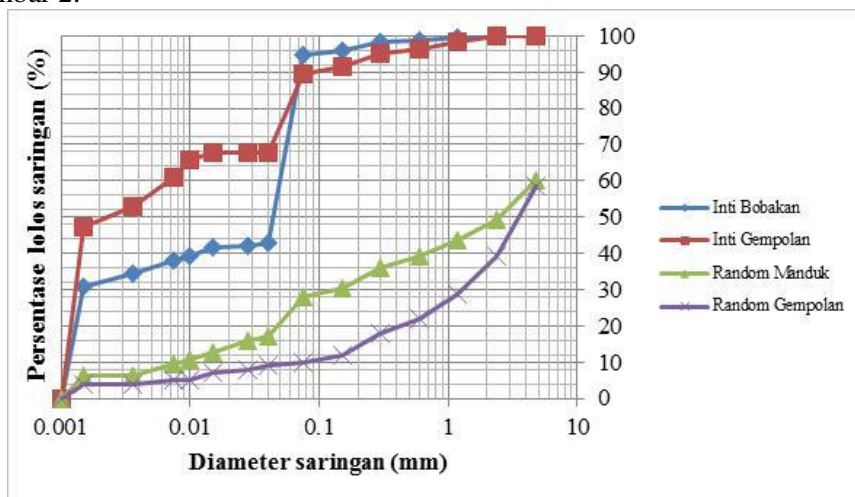
Tabel 3. Batas-batas Atterberg

Parameter	Disturb Sample	
	Inti Gempolan	Inti Bobakan
Liquid Limit (LL)	48,20 %	58,30 %
Plastic Limit (PL)	26,95 %	32,67 %
Shrinkage Limit (SL)	12,61 %	17,75 %
Plasticity Index (PI)	21,25 %	25,63 %

Berdasarkan hasil pengujian sampel tanah tersebut, dapat disimpulkan bahwa tanah bersifat plastisitas tinggi dan termasuk lempung kohesif karena memiliki nilai $PI > 17$ dan bahan timbunan yang digunakan untuk bahan material timbunan zona kedap air (inti) telah memenuhi syarat.

Distribusi ukuran butiran

Hasil pengujian gradasi butiran tanah pada *borrow area* Gempolan, Bobakan, Manduk dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik hubungan antara diameter saringan dengan presentase lolos saringan

Berdasarkan gambar grafik diatas dapat diketahui bahwa bahan timbunan inti Bobakan dan Gempolan tidak memenuhi kriteria. Sedangkan bahan timbunan random Manduk dan Gempolan sudah memenuhi kriteria gradasi yang sesuai untuk bahan-bahan bendungan urugan secara umum yang telah diselidiki dengan saksama dan hasilnya telah diterbitkan oleh USBR.

Maka agar bahan timbunan inti yang diambil pada *borrow area* Bobakan dan Gempolan memenuhi kriteria yang ditentukan dilakukan perbaikan gradasi. Perbaikan gradasi dilakukan dengan cara menambah tanah pada fraksi tertentu yang dianggap kurang baik atau dengan mencampur kedua tanah tersebut sehingga tercapai parameter yang telah ditentukan.

Klasifikasi Tanah

Berdasarkan hasil uji Atterberg dan persentase butiran lolos saringan No. 200, maka dapat digunakan untuk mencari nilai indeks kelompok (GI) yang kemudian digunakan untuk mengklasifikasi tanah dengan sistem klasifikasi ASSHTO dan USCS yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Klasifikasi Tanah menurut ASSHTO dan USCS

Disturbe Sample	LL (%)	PL (%)	PI (%)	GI	Lolos Saringan No. 200 (gr)	ASSHTO	USCS
Inti Gempolan	48,2	26,95	21,25	21,54	89,58	CL	A-7-6
Inti Bobakan	58,3	32,67	25,63	29,86	94,70	CH	A-7-5

Uji Sifat Mekanis Tanah

Uji Pemadatan Tanah (*Standard Proctor*)

Hasil pengujian pemadatan tanah inti Gempolan dan Bobakan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengujian pemadatan tanah

Parameter	<i>Disturb Sample</i>	
	Inti Gempolan	Inti Bobakan
γ_d	1,24 gr/cm ³	1,20 gr/cm ³
W_{opt}	31 %	39 %
γ_b	1,62 gr/cm ³	1,68 gr/cm ³
γ_{sat}	1,78 gr/cm ³	1,75 gr/cm ³

Uji Direct Shear Test (*DST*)

Hasil pengujian *DST* pada tanah inti Gempolan dan Bobakan dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Hasil Pengujian *DST* kondisi basah

<i>Disturb Sample</i>	Kondisi basah	
	Kohesi (c)	Sudut ($^{\circ}$)
Inti Gempolan	0,604 kg/cm ²	20,36 ⁰
Inti Bobakan	0,765 kg/cm ²	20,86 ⁰

Tabel 7. Hasil Pengujian *DST* kondisi jenuh

<i>Disturb Sample</i>	Kondisi jenuh	
	Kohesi (c)	Sudut ($^{\circ}$)
Inti Gempolan	0,299 kg/cm ²	23,57 ⁰
Inti Bobakan	0,214 kg/cm ²	23,40 ⁰

Analisis Koefisien Gempa Termodifikasi

Stabilitas bendungan tipe urugan akibat beban gempa menggunakan analisis koefisien gempa termodifikasi dengan metode *OBE (Operating Basic Earth Quake)* menghasilkan koefisien gempa sebagai berikut :

Untuk $Y/h = 0,25$ diperoleh nilai $K = 0,1699$

Untuk $Y/h = 0,50$ diperoleh nilai $K = 0,1418$

Untuk $Y/h = 0,75$ diperoleh nilai $K = 0,1293$

Untuk $Y/h = 1,00$ diperoleh nilai $K = 0,1167$

Data Tanah Material Timbunan

Parameter material timbunan yang digunakan untuk analisis stabilitas tubuh bendungan dengan menggunakan *Geoslope* dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 8. Parameter Material Timbunan Kondisi Basah

Material	Kondisi Setelah Kontruksi (Muka Air Kosong)		
	Berat Isi (kN/m ³)	Kohesi (Kpa)	Sudut ($^{\circ}$)
Inti	15,89	59,23	20,36
Filter	23,54	0,00	35,00
Random	18,56	21,20	30,00
Rip-rap	26,14	0,00	50,17
Pondasi	17,66	188,00	37,39

Tabel 9. Parameter Material Timbunan Kondisi Jenuh

Material	Kondisi Muka Air Normal, Banjir dan Rapid Drawdown		
	Berat Isi (kN/m ³)	Kohesi (Kpa)	Sudut (°)
Inti	17,46	29,32	23,57
Filter	28,19	0,00	25,00
Random	19,94	21,20	30,00
Rip-rap	27,25	0,00	50,00
Pondasi	17,66	188,00	37,39

Analisis Stabilitas Tubuh Bendungan dengan Geoslope

Secara ringkas dari analisis pemodelan *Geoslope* pada tubuh bendungan dapat dilihat pada Tabel 10, Tabel 11, Tabel 12, dan Tabel 13

Tabel 10. Penerimaan angka keamanan pemodelan stabilitas tubuh bendungan

No	Kondisi	<i>SF</i> pemodelan	<i>SF</i> persyaratan	Aman/ Tidak
		<i>Geoslope</i>	Lambe,1969; sherard et al.,1963	
Setelah konstruksi				
1	a. Hulu	2,100	1,4	Aman
	b. Hilir	1,882	1,4	Aman
Muka air normal				
2	a. Hulu	2,023	1,5	Aman
	b. Hilir	1,855	1,5	Aman
Muka air banjir				
3	a. Hulu	2,023	1,5	Aman
	b. Hilir	1,855	1,5	Aman
<i>Rapid drawdown</i>				
4	a. Hulu	1,589	1,2	Aman
	b. Hilir	1,855	1,2	Aman

Tabel 11. Penerimaan angka keamanan stabilitas tubuh bendungan terhadap beban gempa kondisi setelah konstruksi

No	Y/h ; K (lokasi ; koefisien)	<i>SF</i> pemodelan	<i>SF</i> persyaratan	Aman/ Tidak
		<i>Geoslope</i>	Lambe,1969; sherard et al.,1963	
0,25 ; 0,1699				
1	a. Hulu	1,338	1,0	Aman
	b. Hilir	1,235	1,0	Aman
0,50 ; 0,1418				
2	a. Hulu	1,427	1,0	Aman
	b. Hilir	1,313	1,0	Aman
0,75 ; 0,1293				
3	a. Hulu	1,470	1,0	Aman
	b. Hilir	1,350	1,0	Aman
1,00 ; 0,1167				
4	a. Hulu	1,515	1,0	Aman
	b. Hilir	1,390	1,0	Aman

Tabel 12. Penerimaan angka keamanan stabilitas tubuh bendungan terhadap beban gempa kondisi muka air normal

No	Y/h ; K (lokasi ; koefisien)	<i>SF</i> pemodelan	<i>SF</i> persyaratan	Aman/ Tidak
		<i>Geoslope</i>	Lambe,1969; sherard et al.,1963	
0,25 ; 0,1699				
1	a. Hulu	1,018	1,0	Aman
	b. Hilir	1,212	1,0	Aman
0,50 ; 0,1418				
2	a. Hulu	1,117	1,0	Aman
	b. Hilir	1,289	1,0	Aman
0,75 ; 0,1293				
3	a. Hulu	1,166	1,0	Aman
	b. Hilir	1,326	1,0	Aman
1,00 ; 0,1167				
4	a. Hulu	1,219	1,0	Aman
	b. Hilir	1,365	1,0	Aman

Tabel 13. Penerimaan angka keamanan stabilitas tubuh bendungan terhadap beban gempa kondisi muka air banjir

No	Y/h ; K (lokasi ; koefisien)	<i>SF</i> pemodelan	<i>SF</i> persyaratan	Aman/ Tidak
		<i>Geoslope</i>	Lambe,1969; sherard et al.,1963	
0,25 ; 0,1699				
1	a. Hulu	1,017	1,0	Aman
	b. Hilir	1,212	1,0	Aman
0,50 ; 0,1418				
2	a. Hulu	1,116	1,0	Aman
	b. Hilir	1,289	1,0	Aman
0,75 ; 0,1293				
3	a. Hulu	1,165	1,0	Aman
	b. Hilir	1,326	1,0	Aman
1,00 ; 0,1167				
4	a. Hulu	1,219	1,0	Aman
	b. Hilir	1,365	1,0	Aman

KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis geoteknik terhadap material bahan timbunan bendungan dan analisis stabilitas tubuh bendungan pada bendungan Gondang, Karanganyar dapat disimpulkan bahwa :

1. Telah dilakukan pengujian di laboratorium dan studi literatur data primer dan sekunder untuk material timbunan tanah lempung (pengisi zona inti) dan material pengisi zona random telah layak digunakan karena memenuhi spesifikasi dan persyaratan.
2. Dengan aplikasi *geoslope*, telah dilakukan analisis stabilitas tubuh bendungan pada kondisi setelah selesai konstruksi, muka air normal, muka air banjir, dan *rapid drawdown* yang menunjukkan bahwa bendungan aman terhadap kondisi tersebut

3. Dengan aplikasi *geoslope*, telah dilakukan analisis stabilitas tubuh bendungan akibat beban gempa, dengan analisis koefisien gempa termodifikasi metode *OBE* periode ulang 100 tahun. Dengan posisi koefisien beban gempa pada $Y/h = 0,25; 0,50; 0,75; 1,00$ menunjukkan bahwa bendungan aman terhadap beban gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2012. *Detail Desain Pembangunan Bendungan Gondang Kabupaten Karanganyar*. Semarang: PT Gracia Widyakarsa.
- DAS, Braja. M. 1995. *Mekanika Tanah I. Edisi 3*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, Hary Chistady. 2017. *Mekanika Tanah I Edisi ke-7*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, Hary Chistady. 2017. *Mekanika Tanah II Edisi ke-5*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Pd-T-14-2004-A. 2004. *Pedoman Konstruksi dan Bangunan: Analisa Stabilitas Bendungan Tipe Urugan Akibat Beban Gempa*. Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah, Indonesia.
- Sosrodarsono, S. dan Kensaku Takeda. 1981. *Bendungan Type Urugan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.