

ANALISA GEOTEKNIK BENDUNGAN GONGSENG TERHADAP KEAMANAN REMBESAN, STABILITAS LERENG, DAN BEBAN GEMPA

Ali Imron, Dianah Sarah, Siti Hardiyati ^{*)}, Kresno Wikan Sadono ^{*)}

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Bendungan Gongseng terletak di Bojonegoro, Jawa Timur. Bendungan ini direncanakan untuk kebutuhan irigasi seluas 6.169 Ha dan air baku 300 liter/detik. Mengingat pentingnya peran waduk tersebut, maka penulis melakukan studi analisa keamanan bendungan terhadap rembesan, stabilitas lereng, dan beban gempa. Hasil analisa penerimaan material menunjukkan bahwa sampel lempung, pasir, dan batuan layak digunakan sebagai bahan timbunan. Justifikasi tersebut didasarkan pada hasil pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah Undip dan data dari pihak konsultan perencana. Pengujian tersebut meliputi: proctor, *maximum-minimum density*, *triaxial UU*, *direct shear*, *constant head*, *falling head*, gradasi, dan *soil properties*. Berikutnya dilakukan pemodelan dengan menggunakan Plaxis 8.2 dan Geostudio 2007 menunjukkan keamanan baik pada stabilitas lereng terhadap beban normal, dan stabilitas terhadap beban gempa. Hanya saja, bendungan tidak aman terhadap bahaya rembesan sehingga perlu dilakukan perbaikan berupa injeksi semen (*grouting*) pada batuan pondasi sepanjang as bendungan

Kata kunci: Bendungan, Rembesan, Stabilitas Lereng, Gempa Bumi

ABSTRACT

The Gongseng dam is located in Bojonegoro, East Java. This dam was designed to irrigate 6,169 Hectares of rice field and supply the region with 300 litre of clean water per second. Given the importance of the dam to the local society, the writers wish to conduct an analysis regarding its stability against seepage, slope failures, and earthquake load. The analysis conducted on samples brought from the dam location, consisting of clay, sand, and rock specimens, yields the result which indicates that the soil supporting the dam is indeed qualified for the task. Such justification was based on tests held in the Soil Mechanics Laboratory of Universitas Diponegoro and the data obtained from the Engineering Design Consultant. The tests conducted are proctor test, minimum and maximum density test, triaxial UU test, direct shear test, constant and falling head test, sieve analysis, soil properties test. Then, a digital model analysis was done using Plaxis 8.2 and Geostudio 2007. The result signifies the dam's stability against slope failures and earthquake load, but not against seepage failures. A solution is hereby proposed, that an injection of cement, or grouting, should be done to the soil below the foundation along the length of the dam.

Keywords: Dam, Seepage, Slope Stability, Earthquake

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

PENDAHULUAN

Bojonegoro adalah salah satu kabupaten di Jawa Timur dengan sektor adalan dibidang pertanian. Untuk mendukung hasil produksi sektor tersebut, di bangunlah beberapa waduk dengan tahun anggaran 2015. Salah satunya adalah waduk gongseng yang terletak di kecamatan Temayang. Waduk ini memiliki volume tampungan sebesar 24 juta m³ dan area layan irigasi seluas 6.161 Ha. Mengingat begitu pentingnya fungsi waduk tersebut, maka penulis bermaksud untuk menanalisa keamanan tubuh bendungan waduk gonseng terhadap keamanan rembesan, stabilitas lereng, dan beban gempa.

METODOLOGI PENELITIAN

Analisa keamanan tubuh bendungan terhadap bahaya rembesan dan stabilitas lereng, dan beban gempa dilakukan dengan menggunakan *software geostudio* dan *plaxis*. Adapun parameter mekanis didapat dari pengujian meterial timbunan bendungan meliputi pasir, lempung, batuan dan pondasi. Pengujian dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah Undip. Adapun data pendukung lain didapat dari pihak Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo.

ANALISA DATA

Untuk medapatkan parameter desain yang diingkan maka dilakukan pengujian meterial timbunan dan pondasi. Hasil dari pengujian tersebut kemudian divalidasi dengan studi literatur yaitu mencocokkan hasil pengujian dengan tipikal nilai hasil pengujian material terkait.

Tabel 1. Parameter hasil pengujian material untuk pemodelan

Parameter	Nama	Pasir	Batu Urug	Lempung	Batu Pondasi	Unit
Model material	model	mohr-columb	mohr-columb	Mohr-columb	mohr-columb	-
Tipe perilaku	<i>type</i>	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	<i>Drained, Undrained</i>	<i>Drained</i>	-
<i>Soil unit weight</i>	γ_{unsat} γ_{sat}	16 19	17 21	16 18	22 22	kN/m3 kN/m3
<i>Vertical permeability</i>	kx	6,12E-05	0,638	7,06E-08	6,47E-08	m/sec
<i>Horizontal permeability</i>	ky	3,00E-04	3,19	4,03E-07	3,23E-07	m/sec
<i>Young modulus</i>	E	25000	25000	7000	197000	kN/m2
<i>Poisson ratio</i>	v	0,3	0,3	0,4	0,36	-
<i>Cohesion</i>	c;c'	0 ; 0	0	80 ; 30	200	kN/m2
<i>Friction angle</i>	ϕ ; ϕ'	36 ; 30	40	5 ; 25	60	degree

PEMBAHASAN

Analisa penerimaan material menunjukkan bahwa material timbunan bendungan layak digunakan dengan detail analisa penerimaan pada Tabel 2,3, dan 4. Sementara itu beban

gempa dihitung dengan metod *OBE (Operating Basic Earth Quake)* dengan hasil koefisien gempa sebagai berikut:

1. $y/H = 0.25$
 $K = K_0 \times (2.5-1.85 y/H) = 0,0719 \text{ g} \times (2.5-1.85 \times 0.25) = 0.1466 \text{ g}$
2. $y/H = 0.5$
 $K = K_0 \times (2.0-0,60 y/H) = 0,0719 \text{ g} \times (2.0-0,60 \times 0.5) = 0,1222 \text{ g}$
3. $y/H = 0.75$
 $K = K_0 \times (2.0-0,60 y/H) = 0,0719 \text{ g} \times (2.0-0,60 \times 0.75) = 0,1114 \text{ g}$
4. $y/H = 1.0$
 $K = K_0 \times (2.0-0,60 y/H) = 0,0719 \text{ g} \times (2.0-0,60 \times 1) = 0,1006 \text{ g}$

Tabel 2. Analisa penerimaan material zona inti:tanah lempung

No	Persyaratan	Material	OK/Tidak	Sumber Data	Referensi
1	Material tergolong : GC,GM, SC,SM,CL,ML,CH,SM	CH	OK	Sistem klasifikasi tanah	USBR
2	Pemeabilitas lebih kecil dari 10^7 m/s	10^8 m/s	OK	<i>Falling head</i>	
3	Tebal rata minimum core = $(30-50)\% \times H_{maks}$ = $(30-50)\% \times 23 \text{ m}$ = $(6,9 \sim 11,5)\text{m}$	14 m	OK	Gambar proyek	RSNI T-02-2002
4	Lolos saringan No.200 minimum 7% dan maksimum 50%	Lolos sarigan $200 = (56 \sim 70)\%$	Tidak OK	Analisa gradasi	Bendungan type urug (Sosrodarsono,1994)

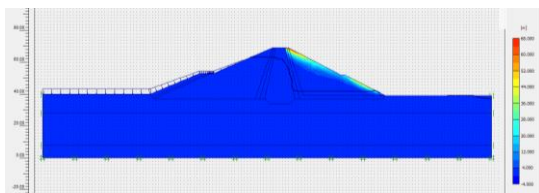
Tabel 3. Analisa penerimaan material zona filter:tanah pasir

No	Persyaratan	Material	OK/Tidak	Sumber Data	Referensi
1	Material tergolong : GW,GP,SW,SP	GW	OK	Sistem klasifikasi tanah	USBR
2	Sangat lulus air/ free draining	1 m/s (<i>Verry good</i>)	OK	Field permeability	
3	Dipasang rip-rap dikedua lereng	Dipasang rip-rap di dua sisi	OK	Falling head	
4	Berat jenis kurang dari 2,3	GS :2,4	OK	GS test	Bendungan type urug (Sosrodarsono,1994)
5	Kualitas baik, tidak mudah pecah,tahan lam,	Ternasuk beku/igneous tergolong batuan kuat dengan tingkat pelapukan <i>slightly</i> (ringan)	OK	Pengamatan visual dan studi literatur	dan Teknik Bendungan (Soediby,1993)
6	Rata-rata 10-75 cm	Dominan (60-11) cm	OK	Analisa gradasi	

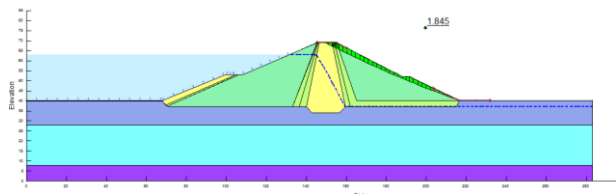
Tabel 4. Analisa penerimaan meterial zona filter:tanah pasir

No	Persyaratan	Material	OK/Tidak	Sumber Data	Referensi
1	Material tergolong : GW,GP,SW,SP	SP	OK	Sistem klasifikasi tanah	USBR
2	D15F/D15B \geq 5	192,024	OK	Gambar proyek	
3	D15F/D85 $<$ 5	1,30791	OK		
4	Pemeabilitas = $10^2 \sim 10^7$ m/s	10^4 m/s	OK	Constant head	
5	Maks diameter Filter 25 mm	diameter maks :4,76 mm	OK	Analisa gradasi	Bendungan type urug (Sosrodarsono,1994)
6	Tidak boleh ada 5% lolos saringan 200	3%	OK		
7	Grafik gradasi filter sejajar dengan yang dilindungi	sejajar	OK	Gradasi	Teknik Bendungan (Soedibyo,1993)
8	Filter ditempatkan pada kedua sisi zona kedap air untuk mencegah erosi buluh pada sisi hilir pada kondisi steady dan air buluh pada sisi hilir pada kondisi surut cepat	Dipasang ke dua sisi	OK	Falling head	
9	Rembesan mengalir melalui zona horizontal drain tanpa menembus zona lulus air	Rembesan melewati horizontal drain	OK	Plaxis dan Seep/W	RSNI T-02-2002
10	Tebal min filter horizontal : 2-3 m. Tebal min filter miring : 2 m	T _{horizontal} : 3 m T _{vertical} : 3 m	OK	Falling head	

Sementara berikut menunjukkan hasil analisa pemodelan stabilitas lereng, rembesan dan beban gempa ekstrim.

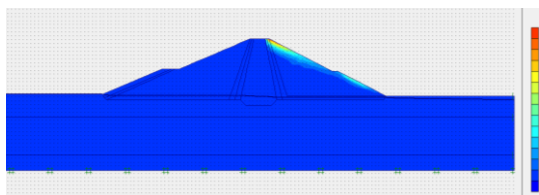


a. Plaxis sf 1,78

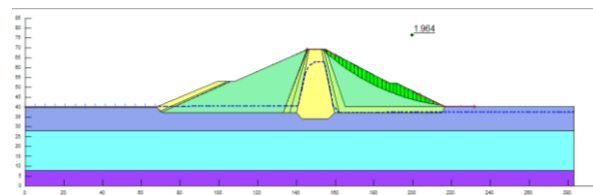


b. Slope/W sf 1,94

Gambar 1. Pemodelan stabilitas lereng kondisi *after construction*

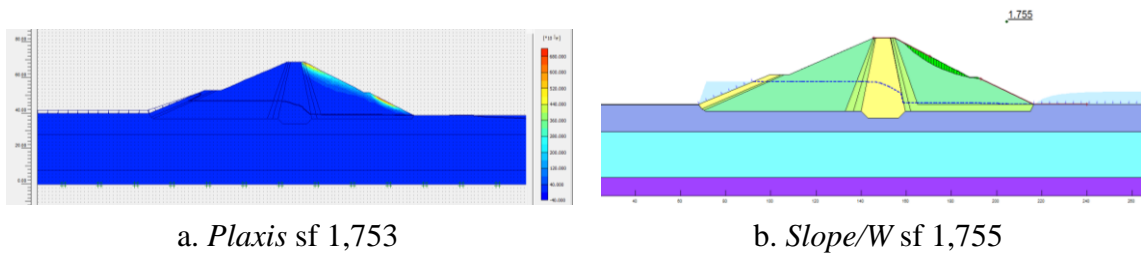


a. Plaxis sf 1,724



b. Slope/W sf 1,845

Gambar 2. Pemodelan stabilitas lereng kondisi *steady state*



Gambar 3. Pemodelan stabilitas lereng kondisi *steady state*

angka keamanan yang didapat kemudian di cocokan dengan pesyaratan angka keamanan (SF) dalam hal ini SF diambil dari RSNi dan literatur lainnya.

Tabel 5. Penerimaan angka keamanan pemodelan stabilitas lereng

No	Kondisi	SF pemodelan		SF persyaratan		Aman /Tidak
		<i>Plaxis 8.2</i>	<i>Geostudio 2007</i>	RSNI M-03-2002	Lambe, 1969 ; sherard et al.,1963	
<i>After construction</i>						
1	a. hulu	-	2,75	1,3	1,4	Aman
	b. hilir	1,781	1,964	1,3	1,4	Aman
<i>Steady state</i>						
2	a. hulu	-	1,845	1,5	1,5	Aman
	b. hilir	1,724	1,845	1,5	1,5	Aman
<i>Rapid draw down</i>						
3	a. hulu	-	2,419	1,2	1,2	Aman
	b. hilir	1,753	1,755	1,2	1,2	Aman

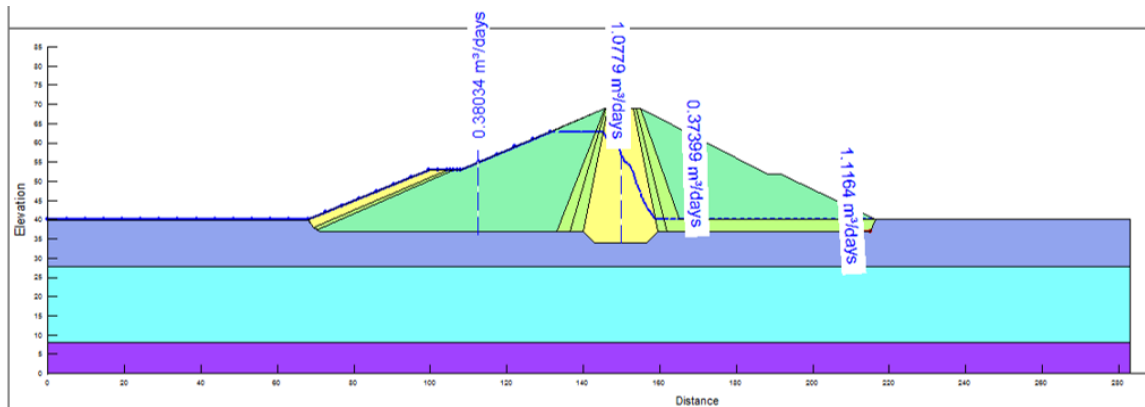
Adapun hasil pemodelan stabilitas lereng terhadap beban gempa menunjukkan bahwa SF bendungan lebih besar dari pada persyaratan.

Tabel 6. penerimaan SF stabilitas lereng terhadap beban gempa

No	Y/H ; K (lokasi ; koefisien)	SF plaxis 8.2	SF Persyaratan		OK/ Not OK
			RSNI M-03-2002	Lambe, 1969 ; sherard et al.,1963	
1	0,25 ; 0,1466 g				
	a. hulu	1,39			
2	0,5 ; 0,1136 g				
	a. hulu	1,423			
3	0,75 ; 0,0805 g		1,2	1	OK
	a. hulu	1,636			
4	1 ; 0,0474 g				
	a. hulu	1,846			
	b. hilir	1,613			

Sementara analisa rembesan menunjukkan bahwa bendungan tidak aman, ini ditunjukkan dengan tinjauan keamanan rembesan menghasilkan *otput* sebagai berikut :

1. Garis freatik melewati drainase yang menandakan fungsi bendungan terpeenuhi
2. Debit rembesan sisi hilir sebesar = 1116 l/days, sementara debit ijin rembesan adalah 200 l/days sehingga bendungan tidak aman terhadap rembesan
3. Bendungan mengalami *uplift* pada sisi hilir yang ditunjukkan pada perhitungan tabel 7



Gambar 5. Pemodelan stabilitas lereng kondisi *steady state*

Tabel 7. Perhitungan angka keamanan up lift sisi hilir bendungan

Nodal	X-Gradient	Y-Gradient	XY Gradient	I max	Icr	FS bolling	FS syarat	OK/not OK
(1)	(2)	(3)	(4)	(6)	(7)	(8)=(7/6)	(9)	(10)
694	0,004	0,88	0,8886	0,8886	1	1,1253657	4	Not OK
705	0,0184	0,9029	0,9029	0,9029	1	1,1075424	4	Not OK
716	-0,022	0,995	0,99	0,995	1	1,0050251	4	Not OK
727	-0,61	0,926	1,109	1,109	1	0,9017133	4	Not OK
736	-0,889	0,395	0,9732	0,9732	1	1,027538	4	Not OK
746	-0,4539	0,152	0,478	0,478	1	2,0920502	4	Not OK
756	-0,2554	0,0833	0,268	0,268	1	3,7313433	4	Not OK
766	-0,148	0,0449	0,155	0,155	1	6,4516129	4	OK

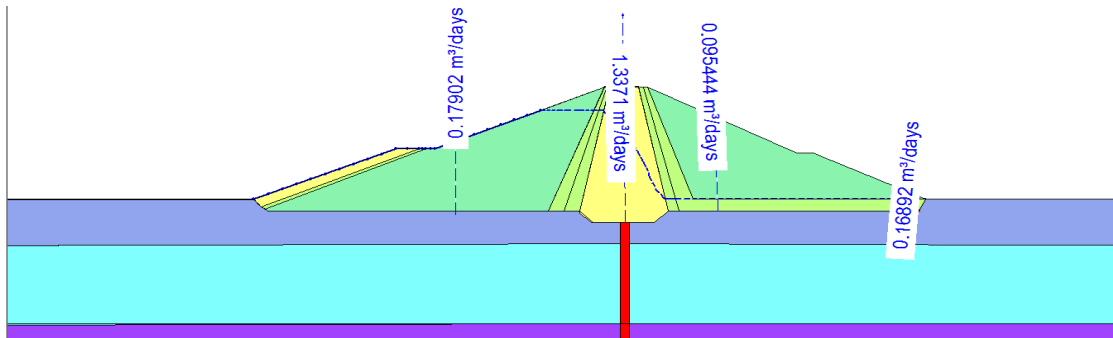
Ketidakamanan bendungan terhadap peristiwa rembesan terjadi karena kedekatan pondasi yang kurang, sehingga debit rembesan sangat tinggi dan *uplift* terjadi pada sisi hilir. Jika peristiwa ini tidak ditangani maka akan menyebabkan peristiwa erosi buluh atau *piping* yang mempengaruhi stabilitas bendungan. Oleh karenanya, sisi pondasi bendungan harus diperbaiki dengan melakukan *grouting*. *Grouting* adalah menginjeksikan cairan semen ke dalam lubang-lubang pondasi yang telah ditentukan untuk menutup *joint* dan menambah berat isi batuan pondasi.

Tabel 8. Detail spesifikasi *grouting*

NO	Item	Keterangan
1	Diameter Lubang	2 m
2	Kedalaman	-30 m
3	Bahan	semen
4	Kgrouting	$K_{pondasi} / 20$

Setelah dilakukan *grouting* maka terdapat perubahan hasil pembacaan parameter keamanan rembesan menjadi:

1. Debit rembesan sisi hilir sebesar = 1116 l/days, sementara debit ijin rembesan adalah 200 l/days sehingga bendungan tidak aman terhadap bahaya rembesan
2. Bendungan aman terhadap *uplift* pada sisi hilir yang ditunjukkan pada perhitungan Tabel 9



Gambar 6. Pemodelan bendungan setelah dilakukan *grouting*

Tabel 9. Perhitungan angka keamanan *uplift*

Nodal	XY Gradient	Icr	FS bolling	FS syarat	OK/not OK
(1)	(2)	(3)	(4)=(3/2)	(5)	(6)
709	0,218	1	4,587155963	4	OK
721	0,215	1	4,651162791	4	OK
732	0,216	1	4,62962963	4	OK
743	0,219	1	4,566210046	4	OK
755	0,23	1	4,347826087	4	OK
757	0,231	1	4,329004329	4	OK
767	0,117	1	8,547008547	4	OK
777	0,065	1	15,38461538	4	OK
787	0,037	1	26,98327037	4	OK

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pemberian *grouting* pada sisi as bendungan meningkatkan angka keamanan uplift dan memperkecil debit rembesan.

KESIMPULAN

Berikut merupakan kesimpulan analisa geoteknik bendungan gongseng terhadap keamanan rembesan stabilitas lereng dan beban gempa, di antaranya:

1. Telah dilakukan pengujian laboratorium dan studi komparasi dengan data sekunder untuk material timbunan tanah pasir (pengisi zona filter) dan lempung (pengisi zona kedap air), sebagai bahan analisa kelayakan meterial timbunan bendungan, dengan hasil layak digunakan karena memenuhi spek dan persyaratan pengizi zona filter dan kedap air.
2. Dari studi data sekunder, dilakukan analisa kelayakan material batu urug dan batuan pondasi, sebagai pengisi komponen struktur bendungan, diperoleh hasil bahwa kedua meterial tersebut layak digunakan berdasarkan persyaratan dan studi literatur terkait.
3. Dengan *plaxis 8.2* dan *seep/w (geostudio)*, telah dilakukan analisa keamanan bendungan terhadap bahaya rembesan, meliputi:debit rembesan, pengamatan garis

freatik, dan bahaya *boilling*, menunjukkan hasil yang beragam. Bendungan dinyatakan aman pada analisa garis freatik dan tidak aman pada analisa debit rembesan dan bahaya *boiling*.

4. Dengan *plaxis 8.2* dan *slope/w (geostudio)*, telah dilakukan analisa stabilitas lereng bendungan terhadap beban normal pada tiga kondisi yaitu: *steady state*, *after construction*, dan *rapid draw down* yang menunjukkan hasil bahwa bendungan dinyatakan aman pada ketiga kondisi tersebut.
5. Dengan *plaxis 8.2*, telah dilakukan analisa stabilitas lereng terhadap beban gempa, dengan metode perhitungan koefisien gempa secara OBE periode ulang 100 tahun, menunjukkan hasil bahwa bendungan aman untuk empat posisi koefisien beban gempa, yaitu: $y/H = 1, 0,25, 0,5, 0,75$.

DAFTAR PUSTAKA

- Christady, Hary., 2010, *Mekanika Tanah I*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
Christady, Hary., 2010, *Mekanika Tanah II*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
Novak et all., 2006, *Hydraulic Structure*, Taylor and Francis, New York.
PD-T-14-2004-A., *Analisis Stabilitas Bendungan Terhadap Beban Gempa*.
RSNI-M-03-2003, *Metode Analisa Statik Stabilitas Lereng Bendungan Tipe Urugan*.
Soedibyo., 1993., *Teknik Bendungan*, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
Sosrodarsono, Suyono, Nakazawa, Kazuto., 2000, *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
Sosrodarsono, Suyono, dan Kensaku., 1977, *Bendungan Tipe Urug*, PT Pradnya Paramita, Jakarta.