

ANALISIS STRUKTUR BENDUNGAN (STUDI KASUS KONSTRUKSI EMBUNG GAMANG)

Raka Setiyanto¹⁾, Noegroho Djarwanti²⁾,³⁾ A.P. Rahmadi

¹⁾ Mahasiswa S1 Reguler – Jurusan Teknik Sipil – Universitas Sebelas Maret

²⁾ Dosen – Jurusan Teknik Sipil – Universitas Sebelas Maret

³⁾ Dosen – Jurusan Teknik Sipil – Universitas Sebelas Maret

email : raka.setiyanto1990@gmail.com

Abstract

Small Dam is a small reservoir which has a peak height of less than 15 meters, and the reservoir capacity of less than 1 million m³. Small Dam itself serves as the reservoir at large as a water reservoir and irrigation purposes. Despite having the physical specifications of the smaller building reservoirs usual, remains to be planned, calculated and constructed in accordance with standards that have been set. This study is theoretical, the analysis is done manually and with the help of a computer program that is GeoStudio 2007. The method used is based on a reference from the “KP 02-Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama dan KP 06-Kriteria Perencanaan Bagian Parameter Bangunan”, and “Pd-T-14-2004-A Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan Akibat Gempa”. Analysis is conducted under seepage analysis of dam foundations and stability of dam building itself. Assumed under normal conditions, flooding, and empty. Also included the assumption of condition with earthquake and without earthquake. From this Research the result showed that in the worst conditions during floods and earthquakes the Gamang dam and its spillway body declared safe from the failure of the structure either by manual and GeoStudio count, with each value of SF (Safety Factor) 4.2071 and 4.31 for a manual count, as well as 3.26 and 2.73 for GeoStudio count. For the analysis of seepage in the dam body and its spillway during flood and earthquake conditions both manual and GeoStudio count declared not safe from harm piping, with the respective values of 0.6485 and a security numbers 1:31 on the condition numbers Lane > 1.8 for a manual count, and 2:29 and 0.94 on the condition that security numbers > 4 to count GeoStudio.

Keywords : stability analysis, safety factor, earthquake, seepage, GeoStudio

Abstrak

Embung adalah waduk kecil yang memiliki tinggi puncak kurang dari 15 meter, dan berkapasitas tampungan kurang dari 1 juta m³. Embung sendiri berfungsi sama dengan waduk pada umumnya sebagai penampung air dan keperluan irigasi. Meskipun memiliki spesifikasi fisik bangunan yang lebih kecil dari waduk biasa, tetap harus direncanakan, diperhitungkan dan dibangun sesuai dengan standar-standar yang telah ditetapkan. Penelitian ini bersifat teoritis, analisis dilakukan dengan cara manual dan dengan bantuan program komputer yaitu GeoStudio 2007. Metode yang digunakan berdasarkan acuan dari KP 02-Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama dan KP 06-Kriteria Perencanaan Bagian Parameter Bangunan, serta Pd T-14-2004-A Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan Akibat Gempa. Analisis yang dilakukan adalah analisis rembesan di bawah pondasi embung dan stabilitas bangunan embung itu sendiri. Diasumsikan pada kondisi normal, banjir, dan kosong. Disertakan pula asumsi dengan gempa dan tanpa gempa. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa pada kondisi terburuk yaitu pada saat banjir dan gempa untuk badan embung Gamang dan pelimpah dinyatakan **aman** dari kegagalan struktur baik dengan hitungan manual maupun dengan hitungan GeoStudio, dengan masing-masing nilai FK (Faktor Keamanan) 4.2071 dan 4.31 untuk hitungan manual, serta 3.26 dan 2.73 untuk hitungan GeoStudio. Untuk analisis rembesan pada badan embung dan pelimpah pada saat kondisi banjir dan gempa baik hitungan manual dan hitungan GeoStudio menyatakan **tidak aman** dari bahaya piping, dengan masing-masing nilai angka keamanan sebesar 0.6485 dan 1.31 dengan syarat angka Lane > 1.8 untuk hitungan manual, serta 2.29 dan 0.94 dengan syarat angka keamanan > 4 untuk hitungan GeoStudio.

Kata Kunci : analisis stabilitas, faktor keamanan, gempa, rembesan, GeoStudio

PENDAHULUAN

Peradaban manusia hingga saat ini telah berkembang sangat pesat, begitu pula dengan peningkatan kebutuhan manusia itu sendiri terutama kebutuhan air sehingga diperlukan pembangunan sarana dan prasarana keairan yang memadai. Sebagai perwujudannya maka banyak dilakukan proyek-proyek pembangunan bangunan sipil di segala bidang. Pada pembangunan bangunan air seperti bendung diperlukan perencanaan dan perhitungan yang cermat, agar fungsi dari bangunan air yang akan dibangun bisa berjalan sebagaimana fungsinya, serta dapat memiliki ketahanan yang baik dalam menghadapi bencana banjir dan gempa bumi.

Pada penelitian ini akan membahas analisis stabilitas badan bendungan baik secara statis maupun dinamis dengan perhitungan manual dan perhitungan dengan bantuan software GeoStudio pada bendungan Gamang yang terletak pada Desa Beleka Kecamatan Praya Tengah Kabupaten Lombok Tengah, Lombok.

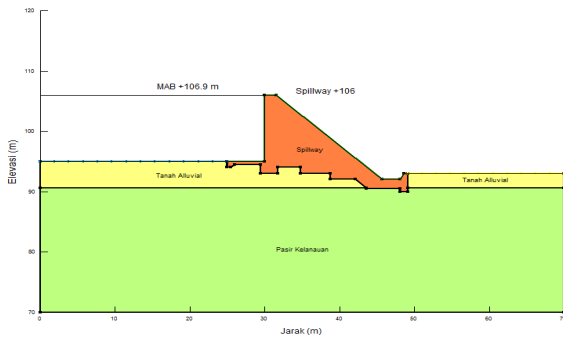
RUMUSAN MASALAH

1. Berapa besar faktor keamanan (FK) pada badan embung dan pelimpah pada embung Gamang terhadap bahaya *piping*?
2. Berapa besar faktor keamanan (FK) stabilitas bangunan badan bendung dan bangunan pelimpah saat kondisi kosong, saat tinggi muka air pada *reservoir* normal, dan saat tinggi muka air pada *reservoir* dalam kondisi banjir?

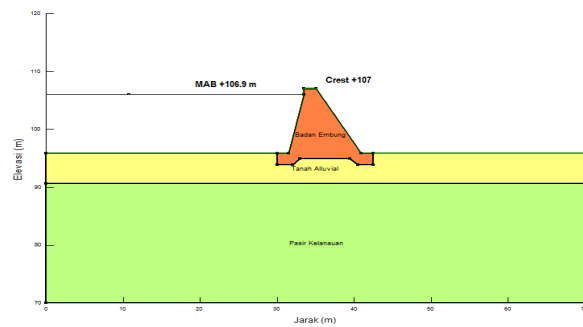
METODE PENELITIAN

Pada studi ini akan membandingkan hasil perhitungan manual dengan hal perhitungan dengan GeoStudio 2007 yang diawali dengan pengumpulan data sekunder parameter tanah dari uji laboratorium Geoteknik Universitas Mataram, sampel tanah diambil dari Proyek Pembangunan Embung Gamang, pada Desa Beleka Kecamatan Praya Timur Kabupaten Lombok Tengah dan data percepatan gempa dasar untuk digunakan pada GeoStudio 2007 di ambil dari <http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html>.

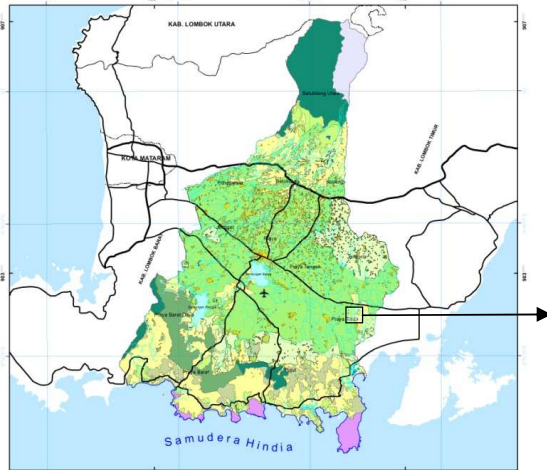
Model yang digunakan dalam studi ini dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2



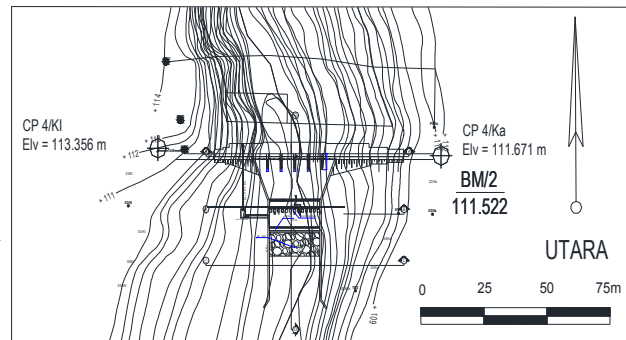
Gambar 1 Model Bangunan Pelimpah Embung Gamang



Gambar 2 Model Badan Embung Gamang



Gambar 3 Peta Kabupaten Lombok Tengah



Gambar 4 Denah Embung Gamang

Tabel 1 Parameter Tanah

No.	Material	Paramater			
		γ_{basah} (t/m ³)	θ (derajat)	c (t/m ²)	k (cm/det)
1	Tanah Alluvial	1.88	10	0.418	1.67×10^{-7}
2	Pasir Kelanauan	1.94	38	0.157	6.07×10^{-7}
3	Urugan Batu	2.2	45	0	1.5×10^{-9}

Sumber : Data Sekunder

Analisis Gaya-Gaya yang Bekerja

• **Beban Sendiri**

Persamaan yang digunakan sebagai berikut (KP-06, 1986):

$$W_t = W_1 + W_2 + \dots + W_n \dots\dots\dots [1]$$

$$W = V \times \gamma_p \dots\dots\dots [2]$$

Keterangan :

- W_t = Berat bangunan total (t)
- W₁, W₂, . . . , W_n = Berat bagian-bagian bangunan (t)
- V = Volume bangunan (m³)
- γ_p = Berat volume bangunan (t/m³)

• **Tekanan Air**

Persamaan yang digunakan sebagai berikut (KP-06, 1986):

$$P_h = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot H^2 \dots\dots\dots [3]$$

$$P_d = \frac{7}{12} \gamma_w \times H^2 \times K_h \dots\dots\dots [4]$$

Keterangan :

- P_h = tekanan hidrostatis (t/m)
- P_d = tekanan hidrodinamik (t/m)
- γ_w = berat volume air (t/m³)
- K_h = koefisien gempa

• **Tekanan Tanah**

Persamaan yang digunakan sebagai berikut (KP-06, 1986):

$$P_a = \frac{1}{2} \times H^2 \times \gamma_t \times K_a \dots\dots\dots [5]$$

$$P_p = \frac{1}{2} H^2 \times \gamma_t \times K_p \dots\dots\dots [6]$$

Keterangan :

- P_a = Tekanan tanah aktif (t/m)
- P_p = Tekanan tanah pasif (t/m)
- γ_t = Berat volume tanah (t/m³)
- K_a = Koefisien tekanan tanah aktif
- K_p = Koefisien tekanan tanah pasif
- H = kedalaman tanah (m)

• **Gaya Tekan ke Atas (Uplift Pressure)**

$$P_x = h_x - \frac{L_x}{L} \Delta h \dots\dots\dots [7]$$

Keterangan :

- P_x : Gaya angkat pada titik x (kg/m²)
- L : Panjang total bidang kontak bendung dan tanah bawah (m)
- L_x : Jarak sepanjang bidang kontak dari hulu sampai titik x (m)
- ΔH : Beda tinggi energi
- H_x : Tinggi energi di hulu bendung (m)

• **Gaya Gempa**

$$k_w = k_h \cdot W \quad A_d = Z \times a_c \times v \quad ; \quad K_h = \frac{A_d}{G} \quad ; \quad K = \alpha_1 \cdot K_h \dots\dots\dots [8]$$

Keterangan :

- k_w : Gaya gempa (t)
- k_h : Koefisien gempa
- W : Berat bangunan (t)
- K : Koefisien gempa terkoreksi untuk analisis stabilitas
- A_d : Percepatan maksimum terkoreksi di permukaan tanah (gal)
- Z : Koefisien zona
- a_c : Percepatan gempa dasar

- v : Koreksi pengaruh tanah setempat
- α_1 : Koreksi pengaruh daerah bebas (*freefield*) untuk bendungan tipe urugan = 0,7; untuk bendungan beton dan pasangan batu = 1

• **Analisis Rembesan**

Rumus yang dipakai adalah :

$$C_L = \frac{L_v + \sum \frac{1}{3} L_h}{\Delta H} \dots\dots\dots [9]$$

Keterangan :

- L_v = panjang rembesan arah vertikal (m),
- L_h = panjang rembesan arah horizontal (m),
- ΔH = perbedaan tinggi air hulu dan hilir (m),
- CL = angka rembesan menurut Lane

• **Stabilitas Lereng Metode Bishop**

Rumus yang digunakan :

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n [(c' b_i + (W_i - u_i b_i) \tan \phi')] \left(\frac{1}{\cos \theta_i (1 + \tan \theta_i \tan \phi' / F)} \right)}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i} \dots\dots\dots [10]$$

Keterangan :

- F = faktor aman
- c' = kohesi tanah efektif (kN/m²)
- φ' = sudut geser dalam efektif (derajat)
- b_i = lebar irisan ke-i (m)
- W_i = berat irisan tanah ke-i (kN)
- θ_i = sudut yang didefinisikan dalam gambar 2.14 (derajat)
- u_i = tekanan air pori pada irisan ke-i (kN/m²)

Cek Stabilitas Embung

• **Stabilitas Terhadap Penggulingan**

Rumus yang dipakai adalah :

$$SF = \frac{\sum Mt}{\sum Mg} > 1.50 \quad (\text{Normal}) \dots\dots\dots [11]$$

$$SF = \frac{\sum Mt}{\sum Mg} > 1.30 \quad (\text{Gempa}) \dots\dots\dots [12]$$

Keterangan:

- SF = faktor keamanan
- ∑Mt = jumlah momen tahan (tm)
- ∑Mg = jumlah momen guling (tm)

• **Stabilitas Terhadap Penggeseran**

Rumus yang dipakai adalah :

$$SF = \frac{\sum V}{\sum H} > 1.50 \quad (\text{Normal}) \dots\dots\dots [13]$$

$$SF = \frac{\sum V}{\sum H} > 1.30 \quad (\text{Gempa}) \dots\dots\dots [14]$$

Keterangan :

- SF = faktor keamanan,
- f = koefisien geser,
- ∑ V = jumlah gaya vertikal (ton),
- ∑ H = jumlah gaya horizontal (ton),
- c = kohesi (t/m)
- A = Luas bidang dasar pondasi (m²)

• **Stabilitas Terhadap Eksentrisitas dan Daya Dukung Tanah**

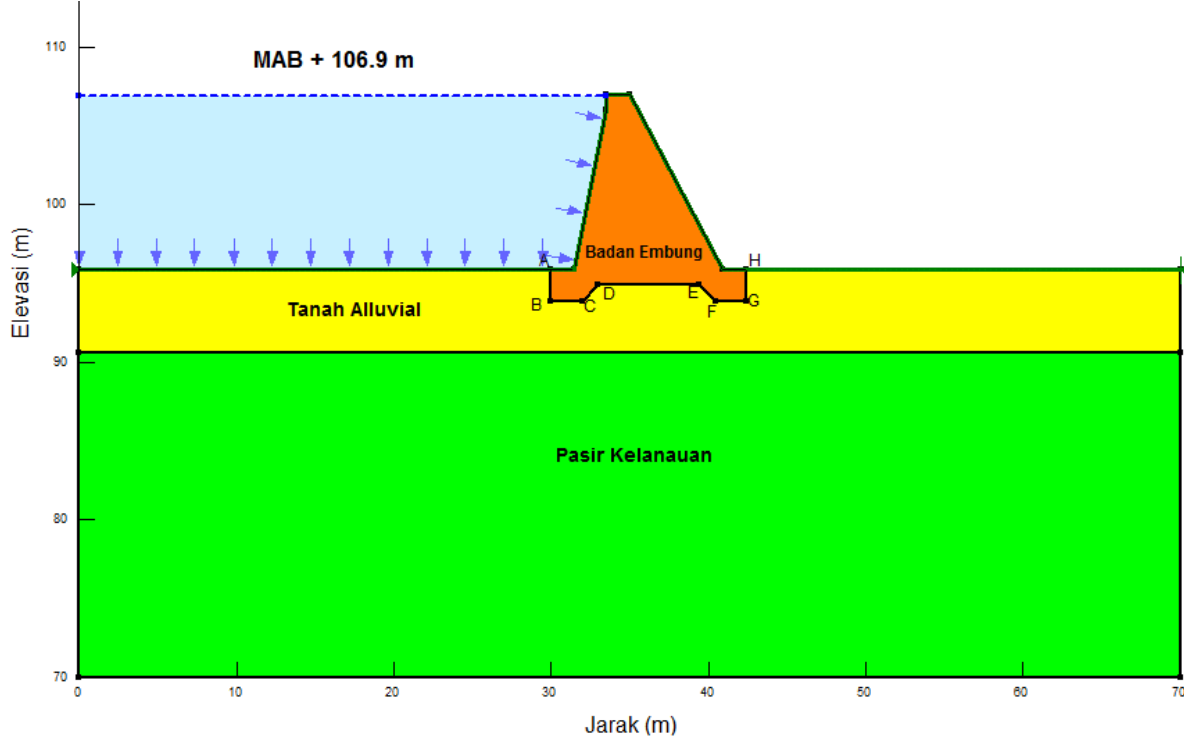
$$e = \left(\frac{\sum M}{\sum V} - \frac{L}{2} \right) < \frac{L}{6} \quad (\text{Eksentrisitas}) \dots\dots\dots [15]$$

$$\sigma_{\max} = \frac{\sum V}{L} \left(1 \pm \frac{6e}{L} \right) < \sigma \quad (\text{Daya Dukung Tanah}) \dots [16]$$

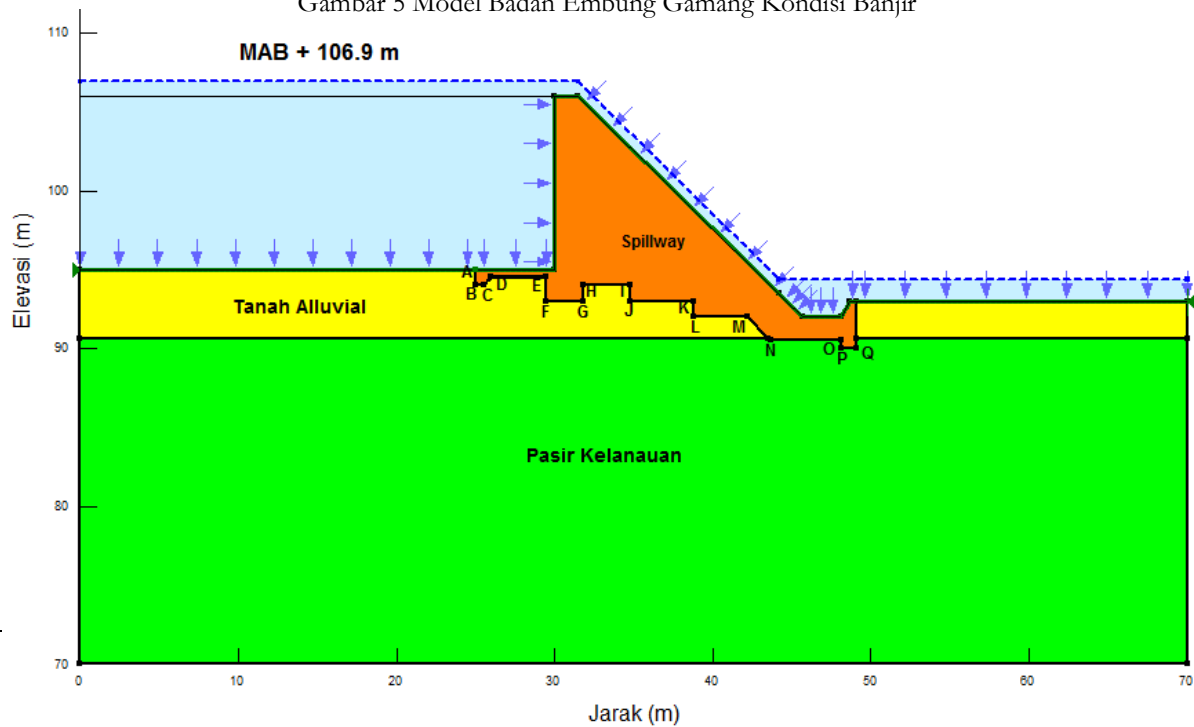
Keterangan :

- σ_{\max} = daya dukung maksimum (t/m²),
- ΣM = $\Sigma M_h - \Sigma M_v$ (tm),
- ΣV = jumlah gaya-gaya vertikal (ton),
- σ = daya dukung yang diijinkan (t/m²),
- e = eksentrisitas akibat beban yang bekerja (m)

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN



Gambar 5 Model Badan Embung Gamang Kondisi Banjir



Gambar 6 Model Bangunan Pelimpah Embung Gamang Kondisi Banjir

Tabel 2 Hasil Analisis Cara Manual Badan Embung Kondisi Banjir

No	Kondisi	Angka Keamanan			Keterangan
		Hitung		SF	
1	Muka Air Banjir Tanpa Gempa				
	a. Terhadap Guling	27.6998	>	1.3	Aman
	b. Terhadap Geser	15.4047	>	1.3	Aman
	c. Rembesan	0.6485	>	1.8	Tidak Aman
2	Muka Air Banjir Dengan Gempa				
	a. Terhadap Guling	4.2701	>	1.1	Aman
	b. Terhadap Geser	3.7452	>	1.1	Aman
	c. Rembesan	0.6485	>	1.8	Tidak Aman

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 3 Hasil Analisis Cara Manual Bangunan Pelimpah Kondisi Banjir

No	Kondisi	Angka Keamanan			Keterangan
		Hitung		SF	
1	Muka Air Banjir Tanpa Gempa				
	a. Terhadap Guling	4.52	>	1.3	Aman
	b. Terhadap Geser	2.7	>	1.3	Aman
	c. Rembesan	1.31	>	1.8	Tidak Aman
2	Muka Air Banjir Dengan Gempa				
	a. Terhadap Guling	4.31	>	1.1	Aman
	b. Terhadap Geser	1.9	>	1.1	Aman
	c. Rembesan	1.31	>	1.8	Tidak Aman

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4 Hasil Analisis Cara GeoStudio 2007 Badan Embung Kondisi Banjir

No	Kondisi	Angka Keamanan			Keterangan
		Hitung		SF	
1	Muka Air Banjir Tanpa Gempa				
	a. Hilir	3.26	>	1.3	Aman
	b. Hulu	1.914	>	1.3	Aman
	c. Rembesan	2.29	>	4	Tidak Aman
2	Muka Air Banjir Dengan Gempa				
	a. Hilir	2.73	>	1.1	Aman
	b. Hulu	5	>	1.1	Aman
	c. Rembesan	2.29	>	4	Tidak Aman

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5 Hasil Analisis Cara GeoStudio 2007 Bangunan Pelimpah Kondisi Banjir

No	Kondisi	Angka Keamanan			Keterangan
		Hitung		SF	
1	Muka Air Banjir Tanpa Gempa				
	a. Hilir	4.52	>	1.3	Aman
	b. Hulu	2.7	>	1.3	Aman
	c. Rembesan	0.94	>	4	Tidak Aman
2	Muka Air Banjir Dengan Gempa				
	a. Hilir	1.595	>	1.1	Aman
	b. Hulu	5	>	1.1	Aman
	c. Rembesan	0.94	>	4	Tidak Aman

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil analisis yang dilakukan secara manual dan cara *GeoStudio* didapat bahwa pada poin a dan poin b mendeskripsikan sudut pandang yang berbeda di tiap cara manual dan cara *GeoStudio*, meskipun begitu 2 point tersebut menyatakan hal yang sama yaitu tentang keamanan struktur bangunan terhadap stabilitas. Hasil perhitungan didapat bahwa *safety factor* atau angka keamanan dari badan embung dan bangunan pelimpah Embung Gamang dinyatakan **aman** baik sebelum gempa maupun sesudah gempa. Beban gempa yang dimasukkan dalam perhitungan menggunakan Pd T-14-2004-A untuk periode 50 th sebagai acuan perhitungan analisis dinamik pada *GeoStudio*. Pada kondisi terburuk yaitu pada saat banjir dan gempa untuk badan embung Gamang dan pelimpah dinyatakan aman dari kegagalan struktur baik dengan hitungan manual maupun dengan hitungan *GeoStudio*, dengan masing-masing nilai FK (Faktor Keamanan) 4.2071 dan 4.31 untuk hitungan manual, serta 3.26 dan 2.73 untuk hitungan *GeoStudio*. Tetapi untuk analisis rembesan pada badan embung dan pelimpah baik hitungan manual dan hitungan *Geostudio* menyatakan **tidak aman** dari bahaya piping, dengan masing-masing nilai 0.6485 dan 1.31 untuk hitungan manual serta 2.29 dan 0.94. Meskipun nilai koefisien permeabilitas untuk lapisan tanah yang digunakan sebagai landasan untuk pondasi bernilai 1.67×10^{-7} cm/detik, ternyata hitungan dengan teori Lane untuk hitungan manual dan hukum Darcy dengan jaring arus (*flow net*) untuk hitungan *Geostudio* menyatakan tidak aman. Hal ini menurut hitungan teori Lane untuk panjang lintasan rembesan kurang, untuk bisa memenuhi syarat angka Lane.

SIMPULAN

1. Pada kondisi terburuk yaitu pada saat banjir dan gempa untuk badan embung Gamang dan pelimpah dinyatakan **aman** dari kegagalan struktur baik dengan hitungan manual maupun dengan hitungan *GeoStudio*, dengan masing-masing nilai FK (Faktor Keamanan) 4.2071 dan 4.31 untuk hitungan manual, serta 3.26 dan 2.73 untuk hitungan *GeoStudio*.
2. Untuk analisis rembesan pada badan embung dan pelimpah pada saat kondisi banjir dan gempa baik hitungan manual dan hitungan *Geostudio* menyatakan **tidak aman** dari bahaya piping, dengan masing-masing nilai angka keamanan sebesar 0.6485 dan 1.31 dengan syarat angka Lane > 1.8 untuk hitungan manual, serta 2.29 dan 0.94 dengan syarat angka keamanan > 4 untuk hitungan *Geostudio*.

REKOMENDASI

Untuk memperdalam dari studi kasus ini, maka diperlukan beberapa koreksi agar penelitian selanjutnya dapat menghasilkan yang hasil yang lebih baik. Saran-saran untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Untuk hasil analisis rembesan diperlukan perbandingan lain menggunakan rumus analisis rembesan yang lain atau dengan bantuan software analisis rembesan yang lain untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat..
2. Hasil analisis rembesan dengan perhitungan manual dan perhitungan *GeoStudio* sudah memiliki persamaan hasil yaitu menyatakan **tidak aman**, maka untuk desain pondasi Embung Gamang diperlukan perbaikan.

Bisa dengan menggunakan cara *Grouting* atau penambahan turap pada pondasi untuk menambah jalur rembesan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan. Terselainya penyusunan penelitian ini berkat dukungan dan doa dari orang tua, untuk itu kami ucapkan terima kasih. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Ir. Noegroho Djarwanti, MT dan Dr. Ir. Agus P. Rahmadi, MSCE selaku pembimbing yang dengan penuh kesabaran telah memberi koreksi dan arahan sehingga menyempurnakan penyusunan. Pada kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah berperan dalam mewujudkan penelitian ini secara langsung maupun tidak langsung khususnya mahasiswa sipil UNS 2008.

REFERENSI

- Alexander, dan Harahab, Syarifuddin. 2009. *Perencanaan Embung Tambaboyo Kabupaten Sleman DIY*. Tugas Akhir. Semarang: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro
- Bowles, Joseph E. 1997. *Analisis dan Desain Pondasi*. Erlangga.
- Gultom, Anju Frisco, dan Sebayang, Agustinus. 2009. *Analisis Stabilitas Bendungan Way Biba Lampung*. Tugas Akhir. Bandung: Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan. Institut Teknologi Bandung.
- Hardiyatmo, H.C. 2010. *Mekanika Tanah 2*, Beta offset, Yogyakarta.
- Jagatpratista, Elang, dan Imron, Muhammad. 2009. *Perencanaan Embung Panohan Kecamatan Gunem Kabupaten Rembang*. Tugas Akhir. Semarang: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro
- Kementrian, PU. 1986. *Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama KP -02*. CV. Galang Persada
- Kementrian, PU. 1986. *Kriteria Perencanaan Bagian Parameter Bangunan KP -06*. CV. Galang Persada
- Kementrian, PU. 2004. *Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan Akibat Gempa, Pedoman Konstruksi dan Bangunan, Pd T-14-2004-A*.
- Kementrian, PU. 2004. *Peta Zona Gempa Indonesia Sebagai Acuan Dasar Perencanaan dan Perancangan Bangunan*. Pusat Litbang Sumber Daya Air
- Kramer, S.L. 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall, pp. 437.
- Kumalasari, Vitriana. 2012. *Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program Geoslope* Skripsi. Surakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik. Universitas Sebelas Maret.