PENGARUH PENGGUNAAN PETA GEMPA 2010 TERHADAP ANALISIS STABILITAS LERENG BENDUNGAN KEULILING ACEH

EFFECT OF USING EARTHQUAKE MAP 2010 AGAINST DYNAMIC ANALYSIS SLOPE STABILITY OF KEULILING DAM ACEH

[1]**Tri Wardani,** [2] **Muhammad Riza H,** [3] **Y. Djoko Setiyarto**

[1,3] Universitas Komputer Indonesia, Universitas Katolik Parahyangan

[2] Institut Teknologi Bandung

[1,3] Jalan. Dipati Ukur, No. 114, Bandung, Jawa Barat 40132, Jalan. Ciumbuleuit No.94, Bandung, Jawa Barat 40141

[2] Jalan. Tamansari 64, Bandung, Jawa Barat 40116

Email : tri_wardani85@yahoo.com

Abstrak - Dalam mendisain konstruksi bendungan perlu diperhatikan kestabilan lereng bendungan terhadap keruntuhan akibat massa tanah. Selain kestabilan lereng, bendungan juga perlu analisis keamanan terhadap gempa karena bendungan merupakan bangunan konstruksi besar yang memiliki faktor resiko tinggi apabila terjadi keruntuhan. Bendungan-bendungan besar di Indonesia yang telah dibangun merupakan bendungan yang didesain menggunakan peta gempa bangunan air 2004, seiring dengan berjalannya waktu peta gempa telah diperbaharui dengan keluarnya peta gempa bangunan gedung 2010. Oleh karena itu, studi ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh analisis dinamik stabilitas lereng bendungan dengan mempertimbangkan 3 (tiga) kondisi kritis bendungan yaitu selesai masa konstruksi (end of construction), kondisi air normal (steady state) dan kondisi air turun tiba-tiba (rapid draw down). Pemodelan tanah dalam analisis ini menggunakan pemodelan tanah Mohr-Coloumb pada program komputer SLOPE/W, pemodelan tanah equivalent-linear pada program komputer QUAKE/W dan pemodelan tanah Elastik plastik pada program komputer SIGMA/W. Hasil akhir yang akan didapat adalah nilai faktor keamanan (SF) dengan menggunakan metode limit equilibrium, maksimum deformasi arah x dan arah y, tekanan air pori dan tegangan effective yang dihasilkan dari perhitungan finite elemen.

Kata Kunci: Bendungan rockfill, analisis pseudostatik, peta gempa 2010, analisis dinamik, deformasi.

Abstract *- In order to design a dam construction, slope stability of the dam due to soil mass must be concerned. In addition to slope stability, safety analysis of earthquake also necessary because dam is a massive construction building that has high risk if collapse. Large dams that have been built in Indonesia is designed using Hydraulic Building Quake Map 2004, over time quake map have been updated to Building Quake Map 2010. Therefore, this study is conducted to understand the influence from dynamic analysis of slope stability in dam with considering three critical condition of dam which is end of construction, steady state, and rapid draw down condition. Models of the soil in this analysis are Mohr-Coulomb model on SLOPE/W computer program, Equivalent-Linear Model on QUAKE/W computer program and Elastic Plastic Model on SIGMA/W computer program. The final results is Safety Factor (SF) using limit equilibrium method, horizontal and vertical maximum deformation, pore water pressure and effective stress which is generated from finite element calculation.*

Keywords: rockfill dam, pseudo-static analysis, dynamic analysis, deformation.

1. PENDAHULUAN

Bendungan merupakan konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air menjadi waduk atau danau. Seringkali bendungan juga digunakan untuk mengalirkan air ke sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Air, untuk menstabilkan aliran air/irigasi, untuk pencegahan banjir, untuk reklamasi, untuk air pengalih. Beberapa dam juga memiliki bagian yang disebut pintu air untuk membuang air yang tidak diinginkan secara bertahap atau berkelanjutan. Dalam mendisain konstruksi bendungan perlu diperhatikan kestabilan lereng bendungan terhadap keruntuhan akibat massa tanah. Selain kestabilan lereng, bendungan juga perlu analisis keamanan terhadap gempa karena bendungan merupakan bangunan konstruksi besar yang memiliki faktor resiko tinggi apabila terjadi keruntuhan.Bendungan-bendungan besar di Indonesia yang telah dibangun merupakan bendungan yang didesain menggunakan peta gempa bangunan air 2004 seiring dengan berjalannya waktu peta gempa telah diperbaharui dengan keluarnya peta gempa bangunan, gedung 2010. Tetapi masih dalam perdebatan dengan peta gempa 2010 bangunan dikarena percepatan peta gempa 2010 cukup besar jika dibandingkan dengan percepatan peta gempa 2004. Banyak berbagai pihak beranggapan apabila bendungan yang telah dibangun berdasarkan analisis peta gempa 2004 maka bendungan tersebut tidak aman apabila dianalisis berdasarkan peta gempa bangunan 2010. Oleh karena itu, studi ini dilakukan menggunakan peta gempa 2010 untuk mengetahui pengaruh analisis dinamik stabilitas lereng bendungan, analisis statik bendungan, pore water pressure, tegangan effective dan deformasi.

2. STUDI LITERATUR

2.1. Bendungan

Bendungan atau dam merupakan konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air menjadi waduk, danau, atau tempat rekreasi. Bendungan sering juga dipakai untuk mengalirkan air ke Pembangkit Listrik Tenaga Air. Beberapa bendungan juga memiliki bagian yang disebut pintu air untuk membuang air yang tidak diinginkan secara bertahap atau berkelanjutan.

Bendung adalah konstruksi yang dibangun untuk meninggikan muka air sungai dan mengalirkan sebagian aliran air sungai yang ada ke dalam saluran melalui sebuah bangunan pengambilan jaringan irigasi. Air sungai yang permukaannya dinaikkan akan melimpas melalui puncak/mercu bendung (overflow) dapat digunakan sebagai pengukur kecepatan aliran air di saluran/sungai yang cukup besar dan deras alirannya, serangkaian bendung dapat dioperasikan membentuk suatu sistem transportasi air.

Bendungan (dam) dapat diklasifikasikan menurut struktur, tujuan atau ketinggian. Berdasarkan struktur dan bahan yang digunakan, bendungan dapat diklasifikasikan sebagai dam kayu, dam tanah (embankment dam) atau dam batu/semen (masonry dam), dengan berbagai subtipenya. Tujuan dibuatnya termasuk menyediakan air untuk irigasi atau penyediaan air di perkotaan, meningkatkan navigasi, menghasilkan tenaga hidroelektrik, menciptakan tempat rekreasi atau habitat untuk ikan dan hewan lainnya, pencegahan banjir dan menahan pembuangan dari tempat industri seperti pertambangan atau pabrik.

2.2. Metode Analisis Stabilitas Lereng Akibat Beban Gempa

Metode analisis gempa yang digunakan untuk merencanakan bangunan tahan gempa dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu analisis statik dan analisis dinamik (Chopra,1995). Dalam menganalisis perilaku struktur yang mengalami gaya gempa, semakin teliti analisis dilakukan, perencanaannya semakin ekonomis dan dapat diandalkan. Untuk bangunan satu tingkat dapat direncanakan hanya dengan menetapkan besarnya beban lateral yang dapat ditahan elemen struktur dan dengan mengikuti ketentuan-ketentuan dalam peraturan.

Pemilihan metode analisis antara analisis statik dan dinamik umumnya ditentukan dalam peraturan perencanan yang berlaku. Pemilihan metode analisis tergantung pada bangunan tersebut apakah termasuk struktur gedung beraturan atau tidak beraturan. Jika suatu bangunan termasuk struktur bangunan beraturan yang didefinisikan dalam peraturan perencanan, maka analisis gempa dilakukan dengan analisis statik. Sebaliknya, jika suatu struktur termasuk struktur bangunan tidak beraturan, maka analisis gempa dilakukan dengan cara dinamik. Penjelasan mengenai analisis statik dan dinamik akan diuraikan pada sub bab berikut ini.

2.2.1. Analisis Statik

Inersia analisis stabilitas lereng lebih disukai untuk bahan-bahan yang mempertahankan kekuatan geser mereka selama gempa. Yang paling umum digunakan inersia analisis stabilitas lereng adalah pendekatan pseudostatik. Keuntungan dari metode ini adalah mudah untuk memahami dan mudah diterapkan dan metode ini berlaku untuk kedua kondisi kritis tanah yaitu saat total stress dan efektif stress. Gaya lateral pseudostatik Fh dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$F_h = ma = \frac{Wa}{g} = \frac{Wa_{ma}x}{g} = k_h W$$

Dimana :

Fh : kekuatan pseudostatik horisontal bertindak melalui pusat massa dari massa geser

m : massa total geser

W : berat total bahan geser

a : percepatan, yang dalam hal ini adalah percepatan maksimum horizontal pada permukaan tanah akibat gempa (a=amax).

amax : percepatan horizontal maksimum di permukaan tanah yang disebabkan oleh gempa.

amax/g=kh : koefisien seismik, juga dikenal sebagai koefisien pseudostatik.

2.2.2. Analisis Dinamik

Dengan membandingkan percepatan puncak bendungan dengan percepatan masa longsor tanah potensial sebagai riwayat waktu pada kedalaman yang berbeda-beda, Makdisi-seed telah menemukan bahwa frekuensi dari kedua percepatan ini hampir sama dengan amplitudo yang berkurang seiring dengan semakin dalamnya lingkar kelongsoran yang terjadi. Langkah-langkah perhitungan Makdisi-Seed sebagai berikut :

a. Menentukan percepatan tanah puncak (Umax) diambil dari ground motion

b. Tentukan periode bendungan

$$T_0 = 2.61\frac{H \cdot 12\alpha 2 + 16(\alpha 6 + \alpha c)}{v_s \cdot 32 + 36\alpha 6 + 9\alpha\alpha^2}$$

$$\alpha b = \frac{Lb}{H}$$

$$\alpha b = \frac{Lb}{H}$$

Dimana : Lc : Lebar crest

Lb : Lebar bendungan

h : Tinggi bendungan

Vs : Kecepatan geser material bendungan

c. Tentukan y/h

d. Tentukan kmax

$$K_{max} = U_{max} \cdot y/h$$

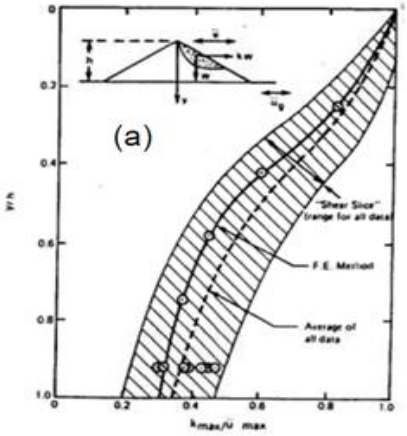
e. Tentukan koefisien gempa dasar, dengan mengubah-ubah nilai Kh pada bidang longsor kritis dengan data bahan γt ; phi' dan c'. Gambarkan hubungan antara FK (faktor keamanan) dengan Kh dan tentukan percepatan gempa Ky (percepatan gempa kritis pada FK=1).

f. Tentukan percepatan puncak (crest) Uk, berdasarkan grafik hubungan antara ky/kmax dengan Uk.

$$U_k = \frac{K_y}{K_{max}}$$

g. Tentukan nilai deformasi U.

$$U = \frac{U_k}{K_{max} \cdot g \cdot T_0}$$



Gambar 2. 1 Grafik hubungan antara K_{max}/U_{max} dengan Y/H

2.3. Analisa Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng dapat dihitung dengan menggunakan beberapa metode. Berikut metode-metode analisis stabilitas lereng :

1. Cara Kesetimbangan Batas (Limit Equilibrium)

Limit Equilibrium Metode adalah metode yang menggunakan prinsip kesetimbangan gaya. Metode analisis ini awalnya mengasumsikan bidang keslongsorannya yang bisa terjadi. Terdapat dua asumsi bidang kelongsoran, yaitu: bidang kelongsoran berbentuk circular dan bidang kelongsoran yang diasumsikan berbentuk non-circular.

Semua metode LE didasarkan pada asumsi-asumsi tertentu untuk interslice normal (E) dan geser (T) kekuatan, dan perbedaan mendasar antara metode adalah bagaimana kekuatan ini ditentukan atau diasumsikan. Selain itu, bentuk slip permukaan diasumsikan dan kondisi kesetimbangan untuk perhitungan FOS antara lain. Ringkasan metode LE dipilih dan asumsi mereka disajikan dalam tabel dibawah ini.

Tabel 2. 1 Metode Limit Equilibrium

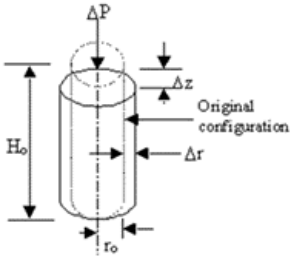
Metode	Gaya Equilibrium		Momen Equilibrium
	X	Y	
Janbu Simplified	Yes	Yes	No
Corps Of Engineers	Yes	Yes	No
Lowe and Karafiath	Yes	Yes	No
Janbu's Generalizied	Yes	Yes	No
Bishop's Rigorous	Yes	Yes	Yes
Spancer's	Yes	Yes	Yes

Tabel 2. 2 Metode Limit Equilibrium lanjutan

Metode	Gaya Equilibrium		Momen Equilibrium
	X	Y	
Morgenstern-Price	Yes	Yes	Yes
Ordinary Method of Slice (OMS)	No	No	Yes
Bishop's Simplified	Yes	No	Yes

2.4. Pemodelan Tanah

Hubungan tegangan regangan menunjukan respon karakteristik teknis dari suatu contoh tanah, untuk mengetahui nilai modulus dari tanah dan mengetahui kuat geser tanah. Pemodelan material tanah dasar yang dipakai untuk analisis tegangan regangan statik ada 3(tiga), yaitu : Linear elastik, Non-linear elastik dan Elasto plastik.



Gambar 2. 2 Ilustrasi tegangan regangan (slide kuliah mektan)

Sehingga didapat hubungan rumus tegangan regangan sebagai berikut :

- Vertikal stress

$$\Delta\sigma_z = \frac{\Delta p}{A}$$

- Vertikal strain

$$\Delta\varepsilon_z = \frac{\Delta Z}{H_o}$$

- Radial strain

$$\Delta\varepsilon_r = \frac{\Delta r}{r_o}$$

- Poisson rasio

$$\nu = \frac{-\Delta\varepsilon_r}{\Delta\varepsilon_z}$$

2.5. Konsep Kondisi Kritis

Kondisi kritis tanah yang perlu diperhatikan adalah tegangan total dan tegangan efektif. Jika memilih kondisi kritis pada analisis, maka akan mendapatkan kondisi kritis dilapangan yang sebenarnya. Karena kesalahan dalam menentukan kondisi kritis akan berpengaruh pada kesalahan estimasi kondisi di lapangan.

1. Tegangan Total

Tegangan total yang terjadi pada tanah dalam suatu titik dari berat volume keseluruhan beban tanah yang berada diatasnya. Apabila saat tanah tersebut jenuh air, jadi tegangan total dihitung dengan memasukan berat volume tanah jenuh air dengan berat volume air. Berikut rumus untuk menghitung tegangan total :

$$\sigma = \gamma_w \cdot h + (h_a - h)\gamma_{sat}$$

dimana :

σ : tegangan total (kPa)

γw : berat isi air (kN/m^3)

γsat : berat isi tanah jenuh air (kN/m^3)

ha : kedalaman pada titik a (m)

h : kedalaman (m)

2. Tegangan Effektif

Untuk menganalisis stabilitas jangka panjang (longterm) atau kondisi drained analisis yang digunakan tegangan efektif. Rumus yang digunakan dalam tegangan efektif adalah sebagai berikut :

$$\sigma' = (\gamma - \gamma_w)h$$

dimana :

σ' : tegangan efektif

γ : berat isi tanah

h : kedalaman

2.6. Gempa Bumi

Menurut Chopra (1995) gempa bumi adalah suatu peristiwa alam dimana terjadi getaran pada permukaan bumi akibat adanya pelepasan energi secara tiba-tiba dari pusat gempa. Energi yang dilepaskan tersebut merambat melalui tanah dalam bentuk gelombang. Gelombang getaran yang samapai ke permukaan bumi disebut gempa bumi.

2.6.1. Koefisien Gempa

Koefisien gempa horizontal dasar yang digunakan didasarkan pada Peta Zona Gempa Indonesia yang diteritkan oleh Litbang SDA. Pada peta tersebut pulau-pulau di Indonesia dibagi menjadi 6 daerah dengan parameter gempa yang berbeda-beda.

Koefisien gempa horizontal dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$a_d = z \cdot a_c \cdot v$$

$$k = \frac{a_d}{g}$$

Dimana :

K : koefisien gempa

Z : koefisien zona gempa

ac : percepatan gempa dasar (gal)

g : percepatan gravitasi (g = 981 cm/detik)

v : faktor koreksi pengaruh jenis tanah setempat

ad : percepatan gempa permukaan terkoreksi (gal)

Tabel 2. 3 Koefisien zona gempa

Lokasi	Koefisien
A	0.00-0.30
B	0.30-0.60
C	0.60-0.90
D	0.90-1.20
E	1.20-1.40
F	1.40-1.60

Tabel 2. 4 Percepatan, periode gempa dan percepatan gempa dasar (1990)

Periode Ulang (Tahun)	Percepatan Dasar Gempa. Ac gal (cm/detik^2)	Ac
10	90	0.103
20	120	0.121
50	160	0.148
100	190	0.169
200	220	0.191
500	250	0.218
1000	280	0.237
5000	330	0.28
10000	350	0.298

Tabel 2. 5 Faktor koreksi pengaruh jenis tanah/batuan

Batuan Dasar	Periode Predominan (Ts)	Faktor Koreksi (v)
Batuan	Ts < 0.25	0.8
Diluvium	0.25 < Ts < 0.5	1
Alluvium	0.50 < Ts < 0.75	1.1
Alluvium Lunak	Ts > 0.75	1.2

2.7. Penentuan parameter dinamik tanah dan batuan

Karena mahal dan sulitnya melakukan uji lapangan dan laboratorium, para peneliti berusaha mengembangkan persamaan-persamaan empiris untuk memperoleh Gmax atau Vsmax , antara lain sebagai berikut:

Untuk lapisan pondasi karena umumnya konstruksi bendungan rockfill berdiri diatas batuan keras. Berikut ini korelasi empiris yang dipakai :

$$G_{max} = \rho \cdot V_s^2$$

Dimana Gmax adalah makismum shear modulus, Vs adalah kecepatan gelombang geser, dan ρ adalah massa jenis material batuan.

Untuk nilai parameter maximum shear modulus material Rockfill ditentukan berdasarkan korelasi empirik yang diusulkan oleh Seed and Idriss, 1970 untuk material cohesionless sebagai berikut :

$$G_{max} = 220K_{2max}(\sigma\sigma m^{0.5}$$

Dimana nilai k2max adalah konstanta yang tergantung dari quality dan kepadatan relative. Untuk gravel k2max berada pada rentang 80 – 180. Material rockfill diasumsikan merupakan material yang memiliki kualitas baik dan terkompaksi dengan baik, sehingga nilai k2max = 170 dapat diambil untuk material rockfill (Kramer, 1996). Kemungkinan nilai k2max untuk material rockfill berdasarkan Seed et. al, 1984 berada pada batasan nilai sebagai berikut

- Lower bond k2max = 90
- Average k2max = 120
- Upper bond k2max = 150

Untuk material core yang umumnya merupakan material berbutir halus, nilai modulus geser maksimum ditentukan berdasarkan korelasi empirik menurut Hardin dan Drnevich, 1972. Dimana properties dinamik material lempung sangat dipengaruhi oleh amplitudo regangan geser, efektif confining stress, void ratio dan stress history. Adapun persamaan yang diusulkan oleh Hardin dan Drnevich, 1972 adalah sebagai berikut :

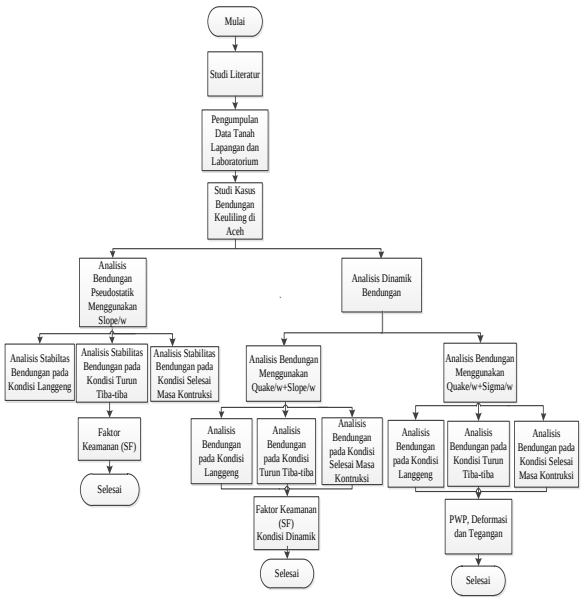
$$G_{max} = 3230 \frac{(2.973 - e)}{1 + e} (OCR)^k (\sigma\sigma n)^{0.5}$$

(σ0') adalah rata-rata efektif confining stress, σ0' = (σ1'+ σ 2'+ σ 3')/3 dalam satuan kPa, OCR adalah overconsolidation ratio, dan k adalah konstanta yang merupakan fungsi dari indeks plastic, PI, bernilai nol untuk PI = 0% dan 0.5 untuk PI lebih dari 100%.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Umum

Pada bab ini akan dibahas metode penelitian yang akan dilakukan untuk mendapatkan kondisi keruntuhan pada bendungan karena faktor gempa. Berikut disajikan diagram alir yang menjelaskan urutan langkah yang diperlukan untuk



Gambar 3. 1 Diagram alir

mendapatkan kondisi keruntuhan pada bendungan karena faktor gempa.

3.2. Studi Literatur

Pada tahap ini penulis mengumpulkan berbagai teori-teori mengenai bendungan, macam-macam lereng, masalah kegagalan lereng, konsep kondisi kritis tanah, pemodelan tanah, analisis stabilitas lereng, gempa bumi dan peta zona gempa teori yang diperlukan untuk menganalisis kebutuhan stabilitas dinamik bendungan. Studi literatur pada studi ini disajikan pada Bab 2.

3.3. Pengumpulan Data Tanah

Data tanah ini berupa parameter dari tanah yang digunakan untuk menganalisis dinamik bendungan. Nilai-nilai tersebut didapat dari tes di lapangan dan uji laboratorium. Dari lapangan, pengujian tanah yang umumnya dilakukan adalah uji SPT. Sedangkan uji yang dilakukan di laboratorium mekanika tanah adalah indeks properti tanah, uji Triaxial. Dari berbagai macam pengujian tersebut akan dihasilkan berbagai parameter tanah.

3.4. Studi Kasus Bendungan Keuliling di Aceh

Pada studi kasus ini diambil bendungan Keuliling yang berada di Aceh. Bendungan Keuliling mulai dibangun pada tahun 2000 dan selesai pada tahun 2008. Bendungan Keuliling terletak di kecamatan Indrapuri(sekarang Kecamatan Cot Glie), Kabupaten Aceh Besar Provinsi Nangroe Aceh Darussalam yang berjarak 35 km dari pusat kota Banda Aceh. Daerah Irigasi Keuliling mempunyai areal persawahan seluas 4.667 Ha, yang berada di kecamatan Cot Glie, Indrapuri, Suka Makmur dan Simpang Tiga sedangkan luas areal 809 Ha terletak di kecamatan Darul Imarah.

3.5. Analisis Pseudostatik Bendungan Menggunakan SLOPE/W dengan Memasukan Beban Gempa

Analisis stabilitas lereng bendungan dilakukan dengan menggunakan metode Limit Equilibrium (Bishop) dengan pemodelan tanah Morh Coloumb dan parameter yang dibutuhkan yaitu : γ, ϕ, c. Pada program komputer SLOPE/W dengan pendekatan yaitu total stress atau kondisi undrained dan efektif stress atau kondisi drained. Pada kondisi statik menggunakan SLOPE/W dengan memasukan titik beban gempa yang telah di tentukan pada kedalaman bendungan Y/H=0.25, Y/H=0.5, Y/H=0.75 dan Y/H=1 dengan koefisien gempa yang diperoleh dari perhitungan berdasarkan Peta Zona Gempa 2004 dan Peta Gempa 2010. Kondisi statik pada studi ini menghitung faktor keamanan (SF) dengan 3 (tiga) kondisi kritis bendungan, yaitu : kondisi air normal (Steady State), kondisi air turun Tiba-tiba (Rapid draw down) dan kondisi selesai masa konstruksi (End of construction).

3.6. Analisis Dinamik Bendungan

Pada analisis dinamik dilakukan dengan menggunakan software Geostudio yang meliputi QUAKE/W, SIGMA/W dan SLOPE/W.

3.7. Analisis Bendungan Dinamik dengan Menggunakan QUAKE/W+SLOPE/W

Pada analisis dinamik pada studi ini menggunakan program komputer QUAKE/W dengan pemodelan tanah Equivalent Linear, parameter yang digunakan yaitu Gmax, υ, ξ, γ, c', dan ϕ'. Kondisi dinamik gempa yang dimasukan berdasarkan ground motion yang telah di buat berdasarkan Peta Zona Gempa 2010. Ground motion yang digunakan antara lain ground motion Shallow Crustal dan ground motion Megatrust. Analisis dinamik pada QUAKE/W dilakukan untuk mengetahui deformasi yang terjadi saat gempa berlangsung, tegangan effective dan tekanan air pori (PWP) dengan 3(tiga) kondisi kritis bendungan, yaitu kondisi air langgeng/normal (Steady state), kondisi air turun tiba-tiba (Rapid draw down) dan kondisi selesai masa konstruksi (End of construction). Dari QUAKE/W dilanjutkan menggunakan SLOPE/W dengan menggunakan Limit equilibrium untuk mengetahui faktor keamanan (SF) dinamik dengan waktu atau durasi tertentu pada 3(tiga) kondisi yang disebutkan di atas.

3.8. Analisis Bendungan Dinamik dengan Menggunakan QUAKE/W+SIGMA/W

Setelah dilakukan analisis dinamik bendungan dengan menggunakan QUAKE/W maka dilanjutkan analisis menggunakan SIGMA/W untuk mengetahui tegangan dan deformasi permanent bendungan dengan pemodelan tanah elastik plastik, parameter tanah yang dipakai yaitu : E, ϕtotal, ctotal, γ dan υ. Ada 3 (tiga) kondisi yang mempertimbangakan, seperti : kondisi air langgeng/normal (Steady state), kondisi air turun tiba-tiba (Rapid draw down) dan kondisi selesai masa konstruksi (End of construction).

4. HASIL ANALISIS

Adapun analisis data untuk mempelajari analisis pseudostatik dan dinamik pada bendungan adalah sebagai berikut.

4.1. Analisis Pseudostatik

4.1.1. Analisis Pseudostatik Bendungan Menggunakan Progam SLOPE/W Berdasarkan Peta Gempa 2004

Analisis pseudostatik stabilitas lereng bendungan dilakukan berdasarkan peta gempa 2004 dengan menggunakan metode kesetimbangan batas (limit equilibrium) yang dibantu oleh perangkat lunak SLOPE/W dari paket program Geostudio. Analisis pseudostatik bendungan mempertimbangkan beberapa kondisi kritis bendungan sebagai berikut :

1. Kondisi selesai masa konstruksi (End of construction).
2. Kondisi air normal (Steady state).
3. Kondisi turun tiba-tiba (Rapid draw down).

Nilai faktor keamanan (SF) yang diambil adalah metode Bishop, karena pada metode Bishop mempertimbangkan kesetimbangan gaya dan kesetimbangan moment.

Adapun hasil analisis stabilitas bendungan pseudostatik berdasarkan peta gempa 2004 dengan menggunakan metode kesetimbangan batas (limit equilibrium) untuk berbagai kondisi kritis bendungan Down stream (D/S)

dan Up stream (U/S) yang dibantu oleh perangkat lunak SLOPE/W dapat disajikan sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Hasil analisis pseudostatik bendungan kondisi selesai masa kontruksi dan hasil studi terdahulu berdasarkan peta gempa 2004

Kondisi Bendungan	Faktor Keamanan (FS)			
	Studi Sekarang		Studi Terdahulu	
	D/S	U/S	D/S	U/S
Selesai masa konstruksi tanpa beban gempa	3.27	6.69	-	-
Selesai masa konstruksi, gempa 0.2 g dan y/h=1	2.11	3.24	-	-
Selesai masa konstruksi, gempa 0.2 g dan y/h=0.75	2.03	3.04	-	-
Selesai masa konstruksi, gempa 0.2 g dan y/h=0.5	1.98	2.94	-	-
Selesai masa konstruksi, gempa 0.2 g dan y/h=0.25	1.82	2.62	-	-

Tabel 4. 2 Hasil analisis pseudostatik bendungan kondisi air normal dan hasil studi terdahulu berdasarkan peta gempa 2004

Kondisi Bendungan	Faktor Keamanan (FS)			
	Studi Sekarang		Studi Terdahulu	
	D/S	U/S	D/S	U/S
Air normal, tanpa gempa	2.58	3.82	3.07	4.13
Air normal, gempa 0.2 g dan y/h=1	1.56	1.75	-	-

Tabel 4. 3 Hasil analisis pseudostatik bendungan kondisi air normal dan hasil studi terdahulu berdasarkan peta gempa 2004 lanjutan

Kondisi Bendungan	Faktor Keamanan (FS)			
	Studi Sekarang		Studi Terdahulu	
	D/S	U/S	D/S	U/S
Air normal, gempa 0.2 g dan y/h=0.75	1.47	1.62	-	-
Air normal, gempa 0.2 g dan y/h=0.5	1.45	1.57	-	-
Air normal, gempa 0.2 g dan y/h=0.25	1.31	1.38	1.61	1.75

Tabel 4. 4 Hasil analisis pseudostatik bendungan kondisi air turun tiba-tiba dan hasil studi terdahulu berdasarkan peta gempa 2004

Kondisi Bendungan	Faktor Keamanan (FS)			
	Studi Sekarang		Studi Terdahulu	
	D/S	U/S	D/S	U/S
Air turun tiba-tiba tanpa beban gempa	2.59	2.54	-	4.14
Air turun tiba-tiba, gempa 0.2 g dan y/h=1	1.55	1.37	-	-
Air turun tiba-tiba, gempa 0.2 g dan y/h=0.75	1.48	1.29	-	-
Air turun tiba-tiba, gempa 0.2 g dan y/h=0.5	1.43	1.25	-	-
Air turun tiba-tiba, gempa 0.2 g dan y/h=0.25	1.31	1.13	-	-

4.1.2. Analisis Pseudostatik Bendungan Menggunakan Progam SLOPE/W Berdasarkan Peta Gempa 2010

Analisis pseudostatik stabilitas lereng bendungan dilakukan berdasarkan peta gempa 2010 dengan menggunakan metode kesetimbangan batas (limit equilibrium) yang dibantu oleh perangkat lunak SLOPE/W dari paket program Geostudio dengan 3 kondisi kritis bendungan dan menggunakan metode Bishop untuk Nilai faktor keamanan (SF).

Adapun hasil analisis stabilitas bendungan pseudostatik dengan menggunakan metode kesetimbangan batas (limit equilibrium) untuk berbagai kondisi kritis bendungan Down stream (D/S) dan Up stream (U/S) yang dibantu oleh perangkat lunak SLOPE/W dapat disajikan sebagai berikut :

Tabel 4. 5 Hasil analisis pseudostatik bendungan kondisi selesai masa kontruksi dan hasil studi terdahulu berdasarkan peta gempa 2010

Kondisi Bendungan	Faktor Keamanan (FS)			
	Peta Gempa 2004		Peta Gempa 2010	
	D/S	U/S	D/S	U/S
Selesai masa konstruksi tanpa beban gempa	3.27	6.69	3.27	6.69
Selesai masa konstruksi, gempa 0.2 g dan y/h=1	2.11	3.24	1.79	2.55
Selesai masa konstruksi, gempa 0.2 g dan y/h=0.75	2.03	3.04	1.70	2.37
Selesai masa konstruksi, gempa 0.2 g dan y/h=0.5	1.98	2.94	1.64	2.25
Selesai masa konstruksi, gempa 0.2 g dan y/h=0.25	1.82	2.62	1.48	1.97

Tabel 4. 6 Hasil analisis pseudostatik bendungan kondisi air normal dan hasil studi terdahulu berdasarkan peta gempa 2010

Kondisi Bendungan	Faktor Keamanan (FS)			
	Peta Gempa 2004		Peta Gempa 2010	
	D/S	U/S	D/S	U/S
Air normal, tanpa gempa	2.58	3.82	2.58	3.82
Air normal, gempa 0.2 g dan y/h=1	1.56	1.75	1.26	1.34
Air normal, gempa 0.2 g dan y/h=0.75	1.47	1.62	1.18	1.23
Air normal, gempa 0.2 g dan y/h=0.5	1.45	1.57	1.13	1.17
Air normal, gempa 0.2 g dan y/h=0.25	1.31	1.38	0.99	1.01

Tabel 4. 7 Hasil analisis pseudostatik bendungan kondisi air turun tiba-tiba dan hasil studi terdahulu berdasarkan peta gempa 2010

Kondisi Bendungan	Faktor Keamanan (FS)			
	Peta Gempa 2004		Peta Gempa 2010	
	D/S	U/S	D/S	U/S
Air turun tiba-tiba tanpa beban gempa	2.59	2.54	2.59	2.54
Air turun tiba-tiba, gempa 0.2 g dan y/h=1	1.55	1.37	1.25	1.10
Air turun tiba-tiba, gempa 0.2 g dan y/h=0.75	1.48	1.29	1.18	1.03
Air turun tiba-tiba, gempa 0.2 g dan y/h=0.5	1.43	1.25	1.13	0.99

Tabel 4. 8 Hasil analisis pseudostatik bendungan kondisi air turun tiba-tiba dan hasil studi terdahulu berdasarkan peta gempa 2010 lanjutan

Kondisi Bendungan	Faktor Keamanan (FS)			
	Peta Gempa 2004		Peta Gempa 2010	
	D/S	U/S	D/S	U/S
Air turun tiba-tiba, gempa 0.2 g dan y/h=0.25	1.31	1.13	1.00	0.87

4.2. ANALISIS DINAMIK

Analisis dinamik bendungan menggunakan metode elemen hingga yang dilakukan menggunakan program komputer QUAKE/W.

4.3. Hasil Analisis Dinamik Menggunakan QUAKE/W

Analisis stabilitas dinamik bendungan dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga yang dibantu oleh perangkat lunak QUAKE/W dari paket program Geostudio. Analisis dinamik bendungan mempertimbangkan beberapa kondisi kritis bendungan sebagai berikut :

1. Kondisi selesai masa konstruksi (End of construction).
2. Kondisi air normal (Steady state).
3. Kondisi turun tiba-tiba (Rapid draw down).

Ground motion yang digunakan yaitu ground motion Megatrust dan ground motion Shallow Crustal dengan arah ground motion vertikal dan horizontal. Pada analisis dinamik, deformasi yang diambil yaitu selisih antara deformasi yang terjadi pada saat di surface dan deformasi yang terjadi pada saat di crest (arah x-displacement dan y-displacement).

Adapun hasil analisis stabilitas dinamik bendungan untuk berbagai kondisi kritis bendungan yang dibantu oleh perangkat lunak QUAKE/W+SIGMA/W dapat disajikan sebagai berikut :

4.3.1. Analisis Dinamik Bendungan Menggunakan Ground Motion Megatrust

Berikut ini hasil analisis dinamik bendungan dengan QUAKE/W dan ground motion Megatrust dengan 3(tiga) kondisi kritis bendungan yang diperhitungkan.

Tabel 4. 9 Hasil analisis tegangan vertikal berdasarkan ground motion megatrust

Kondisi Bendungan	Ground Motion Megatrust	
	Teg. Vertikal Sebelum Gempa (kPa)	Teg. Vertikal Setelah Gempa (kPa)
Selesai Masa Konstruksi	650	600
Air Normal	400	350
Air Turun Tiba-tiba	400	350

Tabel 4. 10 Hasil analisis deformasi berdasarkan ground motion megatrust

Kondisi Bendungan	Ground Motion Megatrust	
	x-displacement (m)	y-displacement (m)
Kondisi Selesai Masa Konstruksi	0.04	0.01
Kondisi Air Normal	0.04	0.01
Kondisi Air Tutun Tiba-tiba	0.04	0.01

Tabel 4. 11 Hasil analisis pore-water pressure berdasarkan ground motion megatrust

Kondisi Bendungan	Ground Motion Megatrust
	Pore-water pressure (kPa)
Kondisi Selesai Masa Konstruksi	71.8
Kondisi Air Normal	6.6
Kondisi Air Tutun Tiba-tiba	24.6

4.3.2. Analisis Dinamik Bendungan Menggunakan Ground Motion Shallow Chrustal

Berikut ini hasil analisis dinamik bendungan dengan QUAKE/W dan ground motion Shalllow Crustal dengan 3(tiga) kondisi yang diperhitungkan.

Tabel 4. 12 Hasil analisis tegangan vertikal berdasarkan ground motion shallow chrustal

Kondisi Bendungan	Ground Motion Shallo Crustal	
	Teg. Vertikal Sebelum Gempa (kPa)	Teg. Vertikal Sebelum Gempa (kPa)
Selesai Masa Konstruksi	500	500
Air Normal	400	400
Air Turun Tiba-tiba	400	400

Tabel 4. 13 Hasil analisis deformasi berdasarkan ground motion shallow chrustal

Kondisi Bendungan	Ground Motion Shallow Crustal	
	x-displacement (m)	x-displacement (m)
Kondisi Selesai Masa Konstruksi	0.05	0.05
Kondisi Air Normal	0.05	0.05
Kondisi Air Tutun Tiba-tiba	0.05	0.05

Tabel 4. 14 Hasil analisis pore-water pressure berdasarkan ground motion shallow chrustal

Kondisi Bendungan	Ground Motion Shallow Crustal	Ground Motion Megatrust
	Pore-water pressure (kPa)	Pore-water pressure (kPa)
Kondisi Selesai Masa Konstruksi	15.1	71.8
Kondisi Air Normal	11.1	6.6
Kondisi Air Tutun Tiba-tiba	53.22	24.6

4.4. Hasil Analisis Dinamik Menggunakan QUAKE/W+SIGMA/W

Analisis stabilitas dinamik bendungan dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga yang dibantu oleh perangkat lunak QUAKE/W+SIGMA dari paket program Geostudio. Analisis dinamik bendungan mempertimbangkan beberapa kondisi kritis bendungan sebagai berikut :

1. Kondisi selesai masa konstruksi (End of
2. construction).Kondisi air normal (Steady state).
3. Kondisi turun tiba-tiba (Rapid draw down).

Ground motion yang digunakan yaitu ground motion Megatrust dan ground motion Shallow Crustal dengan arah ground motion vertikal dan horizontal.

Adapun hasil analisis stabilitas dinamik bendungan untuk berbagai kondisi kritis bendungan yang dibantu oleh perangkat lunak QUAKE/W+SIGMA/W dapat disajikan sebagai berikut :

4.4.1. Analisis Dinamik Bendungan Menggunakan Ground Motion Megatrust dan Shallow Chrustal

Pada analisis deformasi permanent tidak cocok apabila dimodelkan dengan equivalent linear. Karena equivalent linear diasumsikan regangan kembali ke nol setelah terjadi pembebanan siklik dan selama material diasumsikan nol maka tidak ada batasan kekuatan sehingga tidak terjadi keruntuhan.

4.5. Hasil Analisis QUAKE/W+SLOPE/W

Adapun hasil analisis stabilitas bendungan dengan menggunakan QUAKE/W+SLOPE/W untuk berbagai kondisi kritis bendungan Up stream (U/S) dan Down stream (D/S) dapat disajikan sebagai berikut :

4.5.1. Ground Motion Megatrust

Hasil analisis QUAKE/W+SLOPE/W pada 3 kondisi kritis bendungan menggunakan ground motion Megatrust dengan faktor keamanan (SF) berdasarkan metode Bishop adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 15 Rangkuman hasil analisis bendungan menggunakan QUAKE/W+SLOPE/W dengan ground motion Megatrust

Kondisi Bendungan	Faktor Keamanan (FS)	
	D/S	U/S
Selesai masa konstruksi	2.8	4.26
Air normal	2.81	4.3
Air turun tiba-tiba	2.75	2.71

4.5.2. Ground Motion Shallow Crustal

Hasil analisis QUAKE/W+SLOPE/W pada 3(tiga) kondisi kritis bendungan menggunakan ground motion Shallow Crustal dengan faktor keamanan (SF) berdasarkan metode Bishop adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 16 Rangkuman hasil analisis bendungan menggunakan QUAKE/W+SLOPE/W dengan ground motion Shallow Crustal

Kondisi Bendungan	Faktor Keamanan (FS)	
	D/S	U/S
Selesai masa konstruksi	2.82	4.24
Air normal	2.79	4.30
Air turun tiba-tiba	2.54	2.82

4.6. Analisis Dinamik Menggunakan Makdisi-Seed

Dengan membandingkan percepatan puncak bendungan dengan percepatan masa longsor tanah potensial sebagai riwayat waktu pada kedalaman yang berbeda-beda, Makdisi-seed telah menemukan bahwa frekuensi dari kedua percepatan ini hampir sama dengan amplitudo yang berkurang seiring dengan semakin dalamnya lingkar kelongsoran yang terjadi. Langkah-langkah perhitungan Makdisi-Seed sebagai berikut :

Tabel 4. 17 Hasil analisis deformasi berdasarkan Makdisi-seed

Y/H	Deformasi (m)				
	PGA	1.09	1.3	0.98	0.97
1	0.28		0.20	0.34	0.26
0.75	0.21		0.18	0.23	0.24
0.5	0.18		0.16	0.20	0.21
0.25	0.13		0.12	0.15	0.15

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian "Pengaruh penggunan peta gempa 2010 terhadap analisis dinamik stabilitas lereng bendungan Keuliling Aceh" dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

5.1. Kesimpulan

Pengaruh penggunaan peta gempa 2010 terhadap analisis desain bendungan dengan peta gempa 2004 adalah pada hasil analisis statik bendungan pada kondisi turun tiba-tiba dengan beban gempa menghasilkan nilai faktor keamanan (SF) yang tidak aman, sementara dengan peta gempa 2004 menghasilkan nilai faktor keamanan (SF) aman. Pada kondisi bendungan turun tiba-tiba dengan peta gempa 2010 menghasilkan nilai faktor keamanan (SF) 1.05, 1.00 dan 0.9. Sehingga dapat disimpulkan pada kondisi tersebut bendungan tidak aman karena syarat faktor keamanan (SF) bendungan pada kondisi turun tiba-tiba dengan beban gempa adalah 1.1. Sedangkan dengan beban gempa berdasarkan peta gempa 2004 faktor keamanan (SF) yang dihasilkan 1.32, 1.29, 1.16 (aman). Dan Pada kondisi bendungan air normal dengan peta gempa 2010 menghasilkan nilai faktor keamanan (SF) 0.99 (D/S) dan 1.01 (U/S). Sehingga dapat disimpulkan pada kondisi tersebut bendungan tidak aman karena syarat faktor keamanan (SF) bendungan pada kondisi air normal dengan beban gempa adalah 1.2. Sedangkan dengan beban gempa berdasarkan peta gempa 2004 faktor keamanan (SF) 1.31 (D/S) dan 1.38 (U/S) (aman). Hasil deformasi analisis dinamik menggunakan program komputer QUAKE/W lebih kecil dibandingkan hasil deformasi menggunakan metode Makdisi-Seed, nilai deviasi yang dihasilkan sebesar 86.42% pada kondisi selesai masa konstruksi, kondisi air normal dan kondisi air turun tiba-tiba. Hasil metode Makdisi-seed terlalu besar dibandingkan perhitungan pada software QUAKE/W sehingga jika hasil Makdisi-seed yang dipakai dalam analisis maka dimensi bendungan sangat boros dan tidak efisien.

5.2. Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan penulis untuk penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut :

a. Perlu dilakukan studi analisis dinamik bendungan menggunakan pemodelan tanan Non Linear.

b. Perlu dikaji ulang pemodelan tanah menggunakan Non Linear untuk menentukan besarnya deformasi permanent.

c. Pemodelan tanah Non Linear dengan ground motion yang memiliki PGA besar pada software Geostudio perlu dikaji ulang.

d. Perlu dilakukan analisis dinamik yang membandingkan software Geostudio dengan software yang lain.

e. Perlu dilakukan pemodelan garis freatik menggunakan SEEP/W.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, kepada Bapak Muhammad Riza H, ST., MT selaku dosen pembimbing dan Bapak Dr. Y. Djoko Setiyarto, ST., MT selaku co dosen pembimbing karena telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, saran dan nasehatnya selama proses penelitian ini, serta semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Adiamar, Fahmi. (2007), *Analisa Resiko Gempa dan Pembuatan Respon Spektra Desain untuk Jembatan Suramadu dengn Pemodelan Sumber Gempa 3D*, Civil Engeneering, Institut Teknologi Bandung.

Akhlaghi.T, Nikkar. *A Evaluation of the Pseudo-static Analyses of Earth Dams Using FE*, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Alberta, *Waba Dam Permanent Deformation due to an Earthquake*, GEO-SLOPE International Ltd, Canada, www.geo-slope.com.

A.P, Haska. (2012), *Analisis Bendungan Krenceng terhadap gempa*, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.

Ardiandra, George. (1999), *Evaluasi stabilitas lereng waduk manikin di nusa tenggara timur*, Universitas Kristen Maranatha.

Arief, Saefudin. (2008), *Metode-metode Analisis Stabilitas Lereng*, Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Bandung.

Aryal, K, Prasad. (2006), *Slope Stability Evaluations by Limit Equilibrium and Finite Elemen Methods*, Doctoral Thesis at NTNU. Norwegian.

Geo-Slope International Ltd, Calgary, Alberta, Canada., The Lower San Fernando Dam

Damoerin, Damrizal. (2009), *Perilaku Tanah, s*Universitas Indonesia.

Herman. *Bahan Ajar*, Mekanika Tanah II.

H, Riza. M., H, K. Cepi. (2014), *Pengaruh Pemilihan Jumlah Input Ground Motion Pada Analisis*

Dinamik Non Linear Bendungan Rockfill, Seminar nasional HATTI. Jogjakarta

http://www.edwardgoldsmith.org/1020/dams-failures-and-earthquakes/2/#the_ koyna_dam%2C_india

http://id.wikipedia.org/wiki/Bendungan.

http://matdl.org/failurecases/Earthquake_Failures/Lower_San_Fernando_Dam

http://nsmp.wr.usgs.gov/data_sets/20010228_1/20010228_hhd_pics.html

http://pustaka.pu.go.id/new/infrastruktur-bendungan-zdetail.asp?id=313

http://rovicky.wordpress.com.

Irsyam, Mansyur, Prof. (23 April 2010), *Dinamika Tanah dan Rekayasa Gempa*.

Joetomo. (17 Noveber 2013), *Uji Konsolidasi–Plastisitas dan Hancurnya Butiran Tanah*,.

Kep Men Permukiman dan Prasarana Wilayah. (1 Oktober 2004), *Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan Akibat Beban Gempa.* Pedoman Kontruksi dan Bangunan.

Kramer, L, Steven. (1996), "*Geotechnical Earthquake Engineering*", Prentice Hall, Inc.

Ling, I, Hoe., Leshchinsky, Dov., Mohri, Yoshiyuki. (1997), *Soil Slope Under Combined Horizontal adn Vertical Seismic Accelerations*. Japan.

Luan, Maotian., Xin, Junxia. *Effects of Dinamic Properties of Rockfill Materials on Seismic Response of Concrete-Faced Rockfill Dams.* China.

Massarch, R, K. (2004), *Deformation properties of fine-grained soils from seismic tests.* Keynote lecture, International Conference on Site Characterization. Sweden.

M, Cristiano., S, Sharma. (2004), *Seismic Coefficient For Pseudostatik Slope Analysis*.

M, Oskan Zaner. (1998), *A review of Consideration on Seismic Safety of Embankments and Earth dan Rockfill Dams*. Soil Mechanics and Foundations Division, Civil Engineering Department, Middle East Technical University, Ankara, Turkey

M, Stylianos. (August 2009) *Investigation of Backfill-Rock Mass Interface Failure Mechanisms*. Queen's University Kingston, Ontario, Canada.

P, Bagus. (28 Desember 2010), *Perkembangan Peta Gempa Indonesia*, Sastra Sipil Indonesia.

Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Departemen Pekerjaan Umum Badan Penelitian dan Pengembangan, *Peta Zona Gempa Indonesia Sebagai Acuan Dasar Perencanaan dan Perancangan Bangunan.*

RSNI M-03-2002, *Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan,* Badan Standardisasi Nasional.

RSNI T-01-2002, *Tata Cara Desain Tubuh Bendungan Tipe Urugan*, Badan Standardisasi Nasional.

S, Andry., I, Rudi. *Perbandingan Antara Metode Limit Equilibrium dan Metode Finite Elemen dalam Analisi Stabilitas Lereng*, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara Jl. PerpustakaanNo. 1 Kampus USU.

Sidappa, Gopi. DR. *Effect of Earthquake on Embankment D*ams, Civil Engineering Departement, P.E.S. Collage of Engineering, Mandya, Kamataka, India.

Simulation and Observed Earthquake-Induced Deformations

S, Wayan I, Dr. *Pengembangan Peta Zonasi Gempa Indonesia dan Rekomendasi Parameter Desain Seismik Dengan Analisis Bahaya Gempa Probabilistik Terintegrasi (Pulau Sumatra, Jawa dan Nusa Tenggara)*, Pusat Penelitian Mitigasi Bencana.

Tim Revisi Peta Gempa Indonesia. (2010), *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*, Bandung.

U.W, Iria. Analisis Kelongsoran Menurut Beberapa Ahli, www.academia.edu.

Vardanega, J, p., Bolton, D, M. *Stiffness of Clays and Silts: Normalizing Shear Modulus and Shear Strain.*

www.hp1039.jishin.go.jp,2007.

Wiratman dan Associates. (Desember 2003), *Laporan Perhitungan Liquefaction, Rembesan dan Analisis Seismic*, Review Desain Saddle Dam dan Main Dam Waduk Keuliling. Jakarta.

W, Martin. (28-30 Mai 2007), *Eartquake Safety Evaluation Of Ataturk Dam.* Turky.