

# ANALISIS STABILITAS LERENG BENDUNGAN WONOREJO BERDASARKAN PETA GEMPA 2004 DAN PETA GEMPA 2010

Nisa Andan Restuti<sup>1</sup>, Pitojo Tri Juwono<sup>2</sup>, Andre Primantyo H<sup>2</sup>

<sup>1</sup>) Mahasiswa Magister Sumber Daya Air, Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur, Indonesia; nisa\_air05@yahoo.com

<sup>2</sup>) Pengajar, Program Studi Magister Sumber Daya Air, Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur, Indonesia

**Abstrak :** Analisis dilakukan pada kestabilan lereng Bendungan Wonorejo dengan parameter gempa termodifikasi berdasarkan Peta Gempa 2004 dan Peta Gempa 2010. Angka keamanan pada Peta Gempa 2004 cenderung lebih besar daripada Peta Gempa 2010 untuk gempa OBE, sedangkan untuk Gempa MDE angka keamanan pada Peta Gempa 2004 lebih kecil daripada Peta Gempa 2010. Batas aman kala ulang yang dapat ditoleransi oleh Bendungan Wonorejo yaitu pada kala ulang gempa 200 tahun setara dengan gempa kekuatan 6,1 SR.

Kata Kunci: stabilitas, NWL, HWL, RDD, Peta Gempa

**Abstract :** Analysis on Wonorejo Dam slope stability the earthquake parameters modified by Earthquake Maps 2004 and 2010. Safety factor on the Earthquake Map in 2004 tend to be larger than Earthquake Map 2010 in OBE, while for safety factor on the Earthquake Map 2004 is smaller than the Earthquake Map 2010 in MDE. Safety Limits for safe return period that can be tolerated by the dam which is return periode 200 year equivalent to 6,1 SR.

Key words : stability, NWL, HWL, RDD, earthquake map

Stabilitas bendungan merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi dalam pembangunan bendungan, bila syarat stabilitas tersebut tidak terpenuhi, maka akan mengakibatkan masalah keamanan bendungan yang berupa kebocoran, rembesan, longsor, erosi dan retakan. Stabilitas bendungan dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain material pembentuk tubuh bendungan, penentuan zona tubuh bendungan, kemiringan tebing, lapisan fondasi, beban gempa, dan lain-lain.

Menurut Pedoman Analisis Stabilitas Bendungan Urugan Akibat Beban Gempa, penentuan faktor keamanan bendungan menggunakan koefisien gempa dan gaya-gaya vibrasi yang bekerja dengan arah berubah-ubah yang diganti dengan satu gaya statik mendatar, perlu dimodifikasi karena bendungan tipe urugan bersifat lebih fleksibel sehingga percepatan gempa seharusnya semakin membesar di puncak. Untuk membantu

pengerjaan penelitian ini akan digunakan bantuan program komputer untuk keefektifan pekerjaan sehingga didapatkan hasil optimal dengan kualitas yang memuaskan. Sampai saat ini Bendungan Wonorejo rutin melakukan pemeriksaan rutin 3 bulanan, 6 bulanan dan tahunan, sedangkan pemeriksaan besar belum pernah dilakukan.

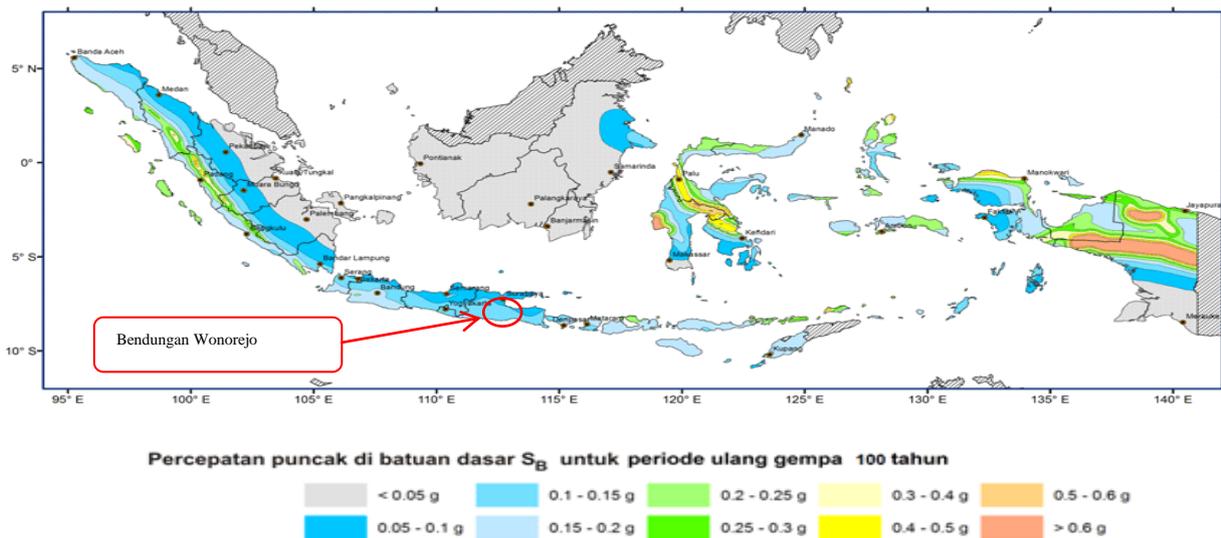
Dasar atau acuan yang berupa teori-teori atau temuan-temuan melalui hasil berbagai penelitian sebelumnya merupakan hal yang sangat perlu dan dapat dijadikan sebagai data pendukung. Salah satu data pendukung yang menurut peneliti perlu dijadikan bagian tersendiri adalah penelitian terdahulu yang relevan dengan permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini. Dalam hal ini, fokus penelitian terdahulu yang dijadikan acuan adalah terkait dengan masalah stabilitas bendungan yang dianalisis menggunakan Peta Gempa 2004. Disini peneliti kesulitan mendapatkan jurnal yang membahas stabilitas

bandungan yang dianalisis menggunakan Peta Gempa 2010. Sehingga, dengan keterbatasan tersebut hanya ditampilkan stabilitas bandungan yang dianalisis berdasarkan Peta Gempa 2004 saja.

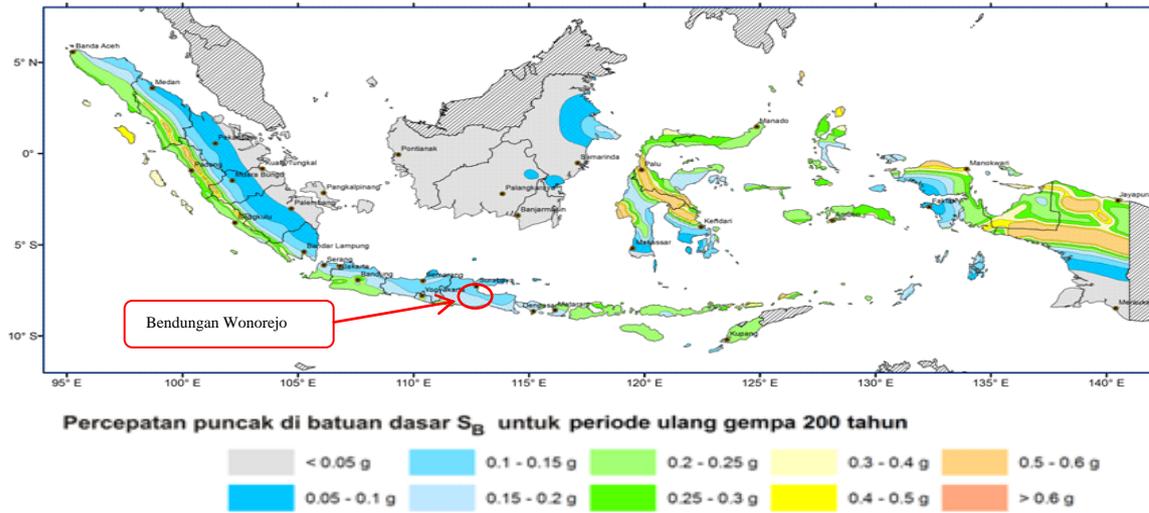
Adapun dalam perhitungan koefisien gempa ini menggunakan dasar acuan dari pedoman Peta Gempa 2004 dan Peta Gempa 2010.



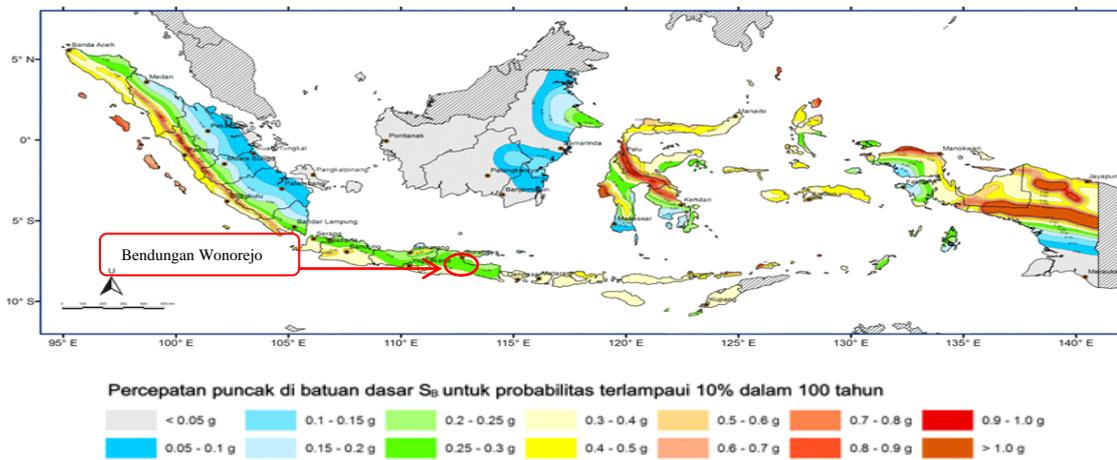
Gambar 1. Lokasi Bendungan Wonorejo pada Peta Zona Gempa Indonesia Tahun 2004  
 Sumber: Pedoman Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan Akibat Beban Gempa



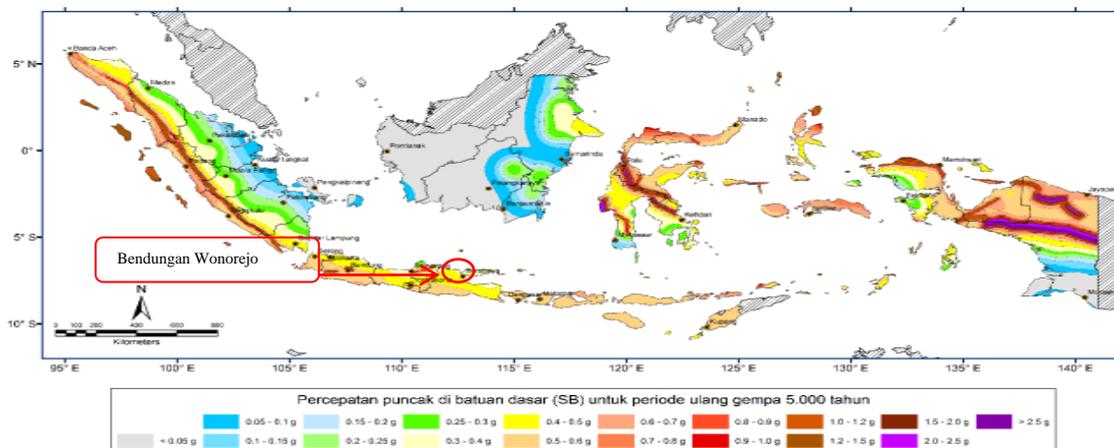
Gambar 2. Lokasi Bendungan Wonorejo pada Peta Gempa 2010 Periode Ulang Gempa 100 Tahun  
 Sumber: Pedoman Peta Hazard Gempa Indonesia 2010



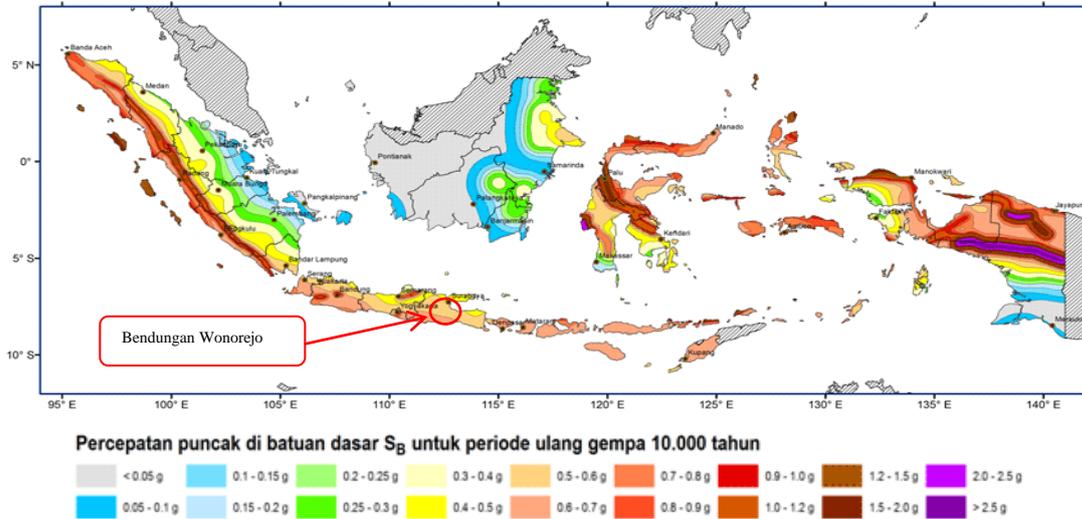
Gambar 3. Lokasi Bendungan Wonorejo pada Peta Gempa 2010 Periode Ulang Gempa 200 Tahun  
 Sumber: Pedoman Peta Hazard Gempa Indonesia 2010



Gambar 4. Lokasi Bendungan Wonorejo pada Peta Gempa 2010 Periode Ulang Gempa 1000 Tahun  
 Sumber: Pedoman Peta Hazard Gempa Indonesia 2010

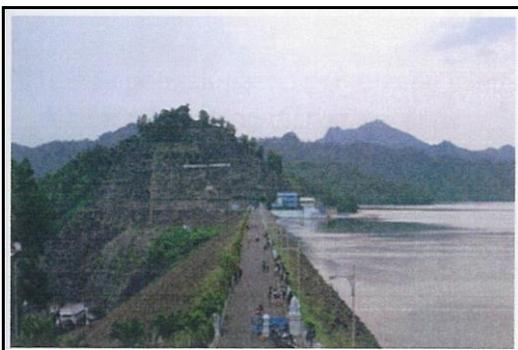


Gambar 5. Lokasi Bendungan Wonorejo pada Peta Gempa 2010 Periode Ulang Gempa 5.000 Tahun  
 Sumber: Pedoman Peta Hazard Gempa Indonesia 2010



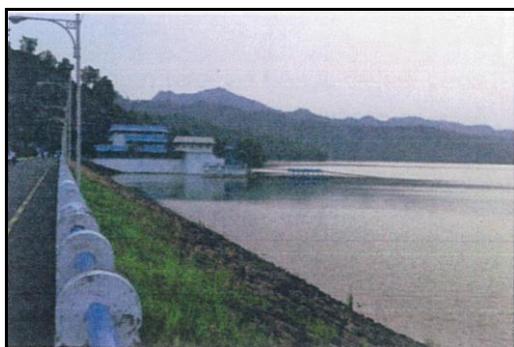
Gambar 6. Lokasi Bendungan Wonorejo pada Peta Gempa 2010 Periode Ulang Gempa 10.000 Tahun  
 Sumber: Pedoman Peta Hazard Gempa Indonesia 2010

Secara umum kondisi stabilitas lereng Bendungan Wonorejo dalam keadaan baik, hal ini dapat ditunjukkan dengan foto lokasi sebagai berikut (PJT I, 2015):



Gambar 7. Foto Kondisi Puncak Bendungan Wonorejo

Sumber: PJT I, 2015



Gambar 8. Foto Kondisi Lereng Hulu Bendungan Wonorejo

Sumber: PJT I, 2015



Gambar 9. Foto Kondisi Lereng Hilir Bendungan Wonorejo

Sumber: PJT I, 2015

Dari beberapa foto yang ditampilkan dapat diketahui bahwa untuk kondisi visual terkini lereng hulu, lereng hilir, dan puncak Bendungan Wonorejo dalam kondisi baik. Tidak didapatkan informasi mengenai perbaikan-perbaikan yang pernah dilakukan untuk mempertahankan stabilitas lereng Bendungan Wonorejo.

## DATA DAN METODOLOGI

### Data

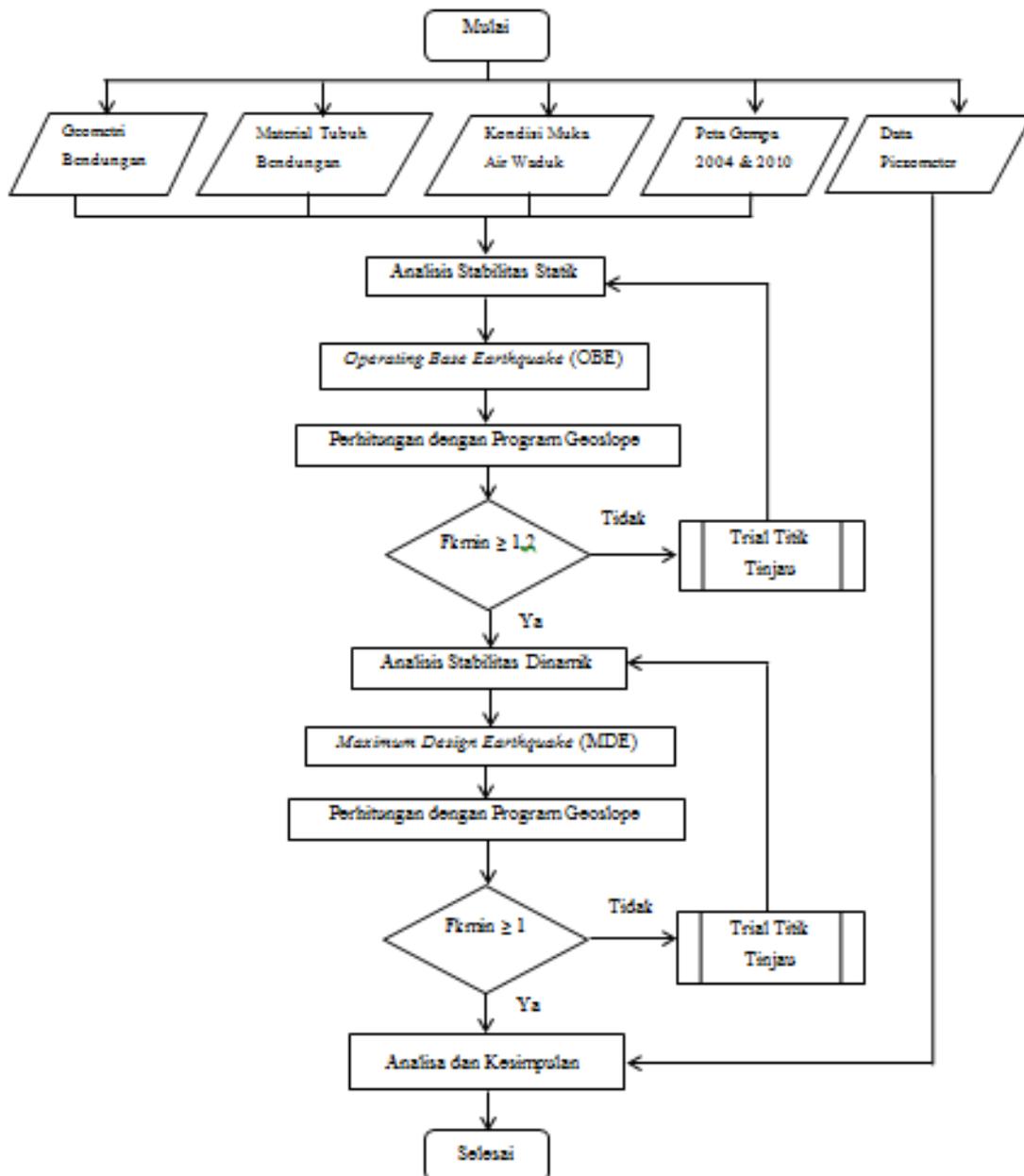
Data-data yang diperlukan dalam studi ini meliputi data-data sekunder terkait dengan analisis stabilitas lereng Bendungan Wonorejo. Data-data yang diperlukan adalah:

1. Peta Gempa 2004 dan 2010
2. Data geometri bendungan
3. Data parameter material urugan
4. Data elevasi muka air waduk
5. Data instrumentasi piezometer

## Metodologi

Analisis stabilitas lereng bendungan terhadap gempa dilakukan dengan cara pemrograman. Program komputer yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah Geoslope (Flexid=9-38529334). Program tersebut dapat menghitung stabilitas lereng bendungan dengan analisis statis dan dinamis bendungan. Sehingga dapat diketahui bahwa

bendungan eksisting yang sudah lama dibangun aman atau tidak terhadap pengaruh beban seismik yang mungkin terjadi di lokasi bendungan atau di sekitar bendungan yang masih memiliki pengaruh. Metode pengerjaan penelitian ini dengan Metode Bishop dan Metode Morgenstern-Price.



Gambar 7. Bagan Alir Pengerjaan Penelitian

Kondisi bendungan yang digunakan sebagai input program yaitu pada:

1) Kondisi setelah konstruksi tanpa gempa dan dengan gempa,

2) Muka air rendah (LWL),  $\pm 141,00$  m, tanpa gempa dan dengan gempa,

3) Muka air normal (NWL),  $\pm 183,00$  m, tanpa gempa dan dengan gempa,

- 4) Muka air banjir (HWL),  $\pm 185,00$  m, tanpa gempa dan dengan gempa,
- 5) Surut cepat (NWL ke LWL),  $\pm 183,00$  ke  $\pm 141,00$  m, tanpa gempa dan dengan gempa

Data parameter timbunan tubuh Bendungan Wonorejo yang digunakan untuk simulasi ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 1. Data Material Tubuh Bendungan Wonorejo

Zone No.	Material	Gs	Density ( $t/m^3$ )			Shear Strength	
			Dry	Wet (OMC)	Saturated	C ( $t/m^2$ )	$\phi$ ( $^\circ$ )
1	Impervious	2,70	1,24	1,68	1,78	2,0	28
2	Filter	2,60	2,07	2,22	2,27	-	36
3	Excavated rock material	2,70	1,73	1,80	2,09	-	36
4	Sand and gravel	2,60	1,83	2,08	2,13	-	35
5	Rock	2,75	1,78	1,82	2,14	-	40
5R	Rock riprap	2,75	1,81	1,82	2,15	-	42

Sumber: *Design Criteria for Civil Works Report*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh merupakan runtutan dari perhitungan dan simulasi pada tubuh bendungan, adapun perhitungan dan simulasinya adalah sebagai berikut:

- 1) Penetapan besaran parameter gempa desain bendungan mengikuti Pedoman Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan Akibat Beban Gempa dan Pedoman Peta Hazard Gempa Indonesia 2010. Analisis stabilitas lereng Ben-

dungan Wonorejo akibat gempa dimulai dengan menentukan faktor risiko keamanan bendungan, menentukan kriteria periode kala ulang gempa yang akan dipakai, lalu menganalisa koefisien gempa dengan periode kala ulang yang dihitung.

Dari Peta Gempa 2004 didapatkan koefisien gempa pada tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Nilai Koefisien Gempa Termodifikasi (Peta Gempa 2004)

No.	Periode ulang T (Tahun)	$a_d$ (g)	$K_0$ (g)	$K_h$ (g)	$K_h$ pada $y/H$				Keterangan
					1	0.75	0.5	0.25	
1	100	0.218	0.218	0.109	0.153	0.169	0.185	0.222	OBE
2	200	0.245	0.245	0.122	0.171	0.190	0.208	0.249	
3	1000	0.300	0.300	0.150	0.210	0.233	0.255	0.306	
4	5000	0.349	0.349	0.175	0.245	0.271	0.297	0.356	MDE
5	10000	0.370	0.370	0.185	0.259	0.286	0.314	0.377	

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 3. Rekapitulasi Nilai Koefisien Gempa Termodifikasi (Peta Gempa 2010)

No.	Periode ulang T (Tahun)	$PGA_M$ (g)	$K_0$ (g)	$K_h$ (g)	$K_h$ pada $y/H$			
					1	0.75	0.5	0.25
1	100	0.150	0.150	0.075	0.105	0.116	0.128	0.153
2	200	0.200	0.200	0.100	0.140	0.155	0.170	0.204
3	1000	0.300	0.300	0.150	0.210	0.233	0.255	0.306
4	5000	0.500	0.500	0.250	0.350	0.388	0.425	0.509
5	10000	0.600	0.600	0.300	0.420	0.465	0.510	0.611

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4. Hasil Perhitungan Koefisien Gempa dengan Menggunakan Peta Gempa Tahun 2004 dan 2010 pada  $T = 100$  Tahun

No.	Parameter	Peta Gempa 2004	Peta Gempa 2010
1	Percepatan gempa dasar		
	$a_c$	0,227	
2	$S_B$		0,150
	Percepatan gempa terkoreksi		
3	$a_d = z \times a_c \times v$	0,218	
	$PGA_M = F_{PGA} \times S_B$		0,150
3	Koefisien gempa terkoreksi	0.218	0.150
4	Koefisien gempa horizontal	0.109	0.075

Sumber: Hasil Perhitungan

- 2) Simulasi menggunakan alat bantu Geoslope dengan Metode Bishop dan Metode Morgenstern-Price.

Pada input data material bendungan harus disesuaikan dengan data material zona timbunan bendungan. Dimana data yang dimasukkan adalah data berat jenis tanah, kohesi tanah, dan sudut geser tanah.

Lalu perlu juga memasukkan tekanan air pori sesuai dengan kondisi simulasi dan elevasi muka air di waduk.

Hasil pada simulasi Program Geoslope adalah sebagai berikut:

### Analisis Hasil Simulasi Stabilitas Tanpa Gempa

### Analisis Hasil Simulasi Stabilitas Menggunakan Peta Gempa 2004

Tabel 7. Hasil Analisis Stabilitas Lereng Bendungan Wonorejo Setelah Konstruksi Dengan Gempa (Peta Gempa 2004)

No.	Kala Ulang	Faktor Keamanan Syarat	Faktor Keamanan				
			$y/h = 0,25$	$y/h = 0,50$	$y/h = 0,75$	$y/h = 1$	
1	100	Hulu	1,2	1,057	1,276	1,134	1,232
		Hilir	1,2	1,226	1,334	1,237	1,227
2	200	Hulu	1,2	0,926	1,202	1,028	1,228
		Hilir	1,2	1,058	1,265	1,185	1,232
3	1.000	Hulu	1,2	0,918	1,064	1,129	1,069
		Hilir	1,2	1,030	1,142	1,197	1,260
4	5.000	Hulu	1,0	0,907	0,952	0,961	0,923
		Hilir	1,0	0,871	0,966	1,014	1,065
5	10.000	Hulu	1,0	0,753	0,713	0,727	0,825
		Hilir	1,0	0,901	0,939	0,987	1,037

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari simulasi yang telah dilakukan, kemudian didapatkan hasil yang dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Analisis Stabilitas Lereng Bendungan Wonorejo Setelah Konstruksi Tanpa Gempa

Kondisi	Faktor Keamanan Syarat	Faktor Keamanan	
		Hulu	Hilir
Setelah Konstruksi	Hulu	1,3	1,639
	Hilir	1,3	1,804

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari tabel 5 dapat diketahui bahwa stabilitas lereng Bendungan Wonorejo setelah konstruksi tanpa beban gempa pada hulu dan hilir memenuhi faktor keamanan yang disyaratkan, yaitu lebih besar dari 1,3.

Tabel 6. Hasil Analisis Stabilitas Lereng Bendungan Wonorejo Tanpa Gempa

No.	Kondisi	Faktor Keamanan Syarat	Faktor Keamanan
1	LWL	Hulu	1,593
		Hilir	1,803
2	NWL	Hulu	1,5
		Hilir	1,804
3	HWL	Hulu	1,3
		Hilir	1,804
4	RDD (NWL – LWL)	Hulu	1,3
		Hilir	1,803

Sumber: Hasil Perhitungan

Pada tabel 6 stabilitas lereng Bendungan Wonorejo tanpa beban gempa pada kondisi elevasi waduk NWL, HWL dan RDD memenuhi faktor keamanan yang disyaratkan.

**Analisis Hasil Simulasi Stabilitas Menggunakan Peta Gempa 2010**

Tabel 8. Hasil Analisis Stabilitas Lereng Bendungan Wonorejo Setelah Konstruksi Dengan Gempa (Peta Gempa 2010)

No.	Kala Ulang		Faktor Keamanan Syarat	Faktor Keamanan			
				y/h = 0,25	y/h = 0,50	y/h = 0,75	y/h = 1
1	100	Hulu	1,2	1,057	1,276	1,134	1,232
		Hilir	1,2	1,227	1,346	1,381	1,415
2	200	Hulu	1,2	0,826	1,202	1,028	1,228
		Hilir	1,2	1,153	1,265	1,185	1,232
3	1.000	Hulu	1,2	0,918	1,064	1,129	1,069
		Hilir	1,2	1,030	1,142	1,197	1,260
4	5.000	Hulu	1,0	0,907	0,952	0,961	0,923
		Hilir	1,0	0,871	0,966	1,014	1,065
5	10.000	Hulu	1,0	0,753	0,713	0,727	0,825
		Hilir	1,0	0,901	0,939	0,987	1,037

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari tabel 8 dapat diketahui bahwa stabilitas lereng Bendungan Wonorejo setelah konstruksi dengan beban gempa sesuai dengan Peta Gempa 2010 menunjukkan bahwa beberapa kombinasi pem-bebanan tidak memenuhi syarat keamanan.

Kondisi stabilitas lereng Bendungan Wonorejo bila dianalisis berdasarkan Peta Gempa 2004 dan Peta Gempa 2010 sebagai berikut:

- Pada analisis stabilitas lereng hulu dengan kala ulang 100 dan 200 tahun dengan Peta Gempa 2004 menghasilkan nilai faktor keamanan yang cenderung lebih kecil daripada nilai faktor ke-amanan pada Peta Gempa 2010. Se-dangkan untuk stabilitas lereng hilir menghasilkan nilai faktor keamanan pada Peta Gempa 2004 lebih kecil daripada Peta Gempa 2010 tetapi perbedaannya tidak terlalu signifikan.
- Pada analisis stabilitas lereng hulu dengan kala ulang 1000 tahun nilai faktor keamanan lereng hulu Bendungan Wonorejo pada Peta Gempa 2004 hampir sama dengan Peta Gempa 2010. Sedang-kan untuk stabilitas lereng hilir meng-hasilkan nilai faktor keamanan pada Peta Gempa 2004 hampir sama dengan Peta Gempa 2010 bila ada yang berbeda nilai per-bedaannya tidak terlalu signifikan.
- Pada analisis stabilitas lereng hulu dan hilir dengan kala ulang 5000 dan 10000 tahun nilai faktor keamanan lereng hulu Bendungan Wonorejo pada Peta Gempa 2004 menghasilkan nilai faktor keaman-an yang lebih besar daripada Peta Gempa 2010.

**Batas Aman Kala Ulang Gempa Bendungan Wonorejo**

Berdasarkan data gempa historis dari *U.S. Geological Survey (USGS)* dapat di-ambil beberapa kejadian gempa yang dapat digunakan untuk menentukan batas aman kala ulang gempa dalam Skala Richter.

Batas aman kala ulang yang dapat ditoleransi oleh Bendungan Wonorejo yaitu 200 tahun, karena dalam kala ulang tersebut stabilitas lereng Bendungan Wonorejo masih di bawah batas nilai faktor keamanan setara dengan 6,1 SR.

**Rekomendasi**

Rekomendasi yang dapat diberikan berdasarkan analisis yang telah dilakukan terhadap Bendungan Wonorejo yaitu dapat dioperasikan dalam kondisi normal tetapi tidak direkomendasikan untuk dioperasikan dalam kondisi darurat karena dapat mem-pengaruhi kestabilan lereng bendungan.

**KESIMPULAN**

Dalam analisis yang telah dilakukan pada kestabilan lereng Bendungan Wonorejo dengan parameter gempa termodifikasi berdasarkan Peta Gempa 2004 dan Peta Gempa 2010, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Kondisi stabilitas lereng Bendungan Wonorejo bila dianalisis berdasarkan Peta Gempa 2004 dan Peta Gempa 2010 sebagai berikut:
  - a) Pada analisis stabilitas lereng hulu dengan kala ulang 100 dan 200 tahun dengan Peta Gempa 2004 menghasil-

- kan nilai faktor keamanan yang cenderung lebih kecil daripada nilai faktor keamanan pada Peta Gempa 2010. Sedangkan untuk stabilitas lereng hilir menghasilkan nilai faktor keamanan pada Peta Gempa 2004 lebih kecil daripada Peta Gempa 2010 tetapi perbedaannya tidak terlalu signifikan.
- b) Pada analisis stabilitas lereng hulu dengan kala ulang 1000 tahun nilai faktor keamanan lereng hulu Bendungan Wonorejo pada Peta Gempa 2004 hampir sama dengan Peta Gempa 2010. Sedangkan untuk stabilitas lereng hilir menghasilkan nilai faktor keamanan pada Peta Gempa 2004 hampir sama dengan Peta Gempa 2010 bila ada yang berbeda nilai perbedaannya tidak terlalu signifikan.
  - c) Pada analisis stabilitas lereng hulu dan hilir dengan kala ulang 5000 dan 10000 tahun nilai faktor keamanan lereng hulu Bendungan Wonorejo pada Peta Gempa 2004 menghasilkan nilai faktor keamanan yang lebih besar daripada Peta Gempa 2010.
- 2) Dari perhitungan koefisien gempa pada masing-masing peta didapatkan hasil sebagai berikut:
- a) Peta Gempa 2004 nilai koefisien gempa pada kala ulang 100 dan 200 tahun lebih besar daripada koefisien gempa pada Peta Gempa 2010. Sehingga menghasilkan nilai faktor keamanan pada Peta Gempa 2004 lebih kecil daripada nilai faktor keamanan pada Peta Gempa 2010.
  - b) Pada kala ulang 1.000 tahun menghasilkan koefisien gempa yang sama pada kedua peta, sehingga menghasilkan nilai faktor keamanan yang hampir sama.
  - c) Pada gempa kala ulang 5.000 dan 10.000 tahun nilai koefisien gempa pada Peta Gempa 2004 lebih kecil hampir setengah dari koefisien gempa pada Peta Gempa 2010. Sehingga menghasilkan nilai faktor keamanan pada Peta Gempa 2004 lebih besar daripada nilai faktor keamanan pada Peta Gempa 2010.

Hasil kondisi stabilitas lereng Bendungan Wonorejo jika dibandingkan antara perhitungan berdasarkan Peta Gempa 2004

dengan Peta Gempa 2010 dapat disimpulkan bahwa hampir keseluruhan nilai faktor keamanan tidak dapat memenuhi nilai faktor keamanan minimum yang disyaratkan. Tetapi bila stabilitasnya dihitung pada kondisi setelah konstruksi tanpa gempa, semua kondisi elevasi muka air memenuhi nilai faktor keamanan minimum.

- 3) Batas aman kala ulang yang dapat ditoleransi oleh Bendungan Wonorejo yaitu 200 tahun, karena dalam kala ulang tersebut stabilitas lereng Bendungan Wonorejo masih di bawah batas nilai faktor keamanan. Dari batas aman kala ulang tersebut setara dengan 6,1 SR.

Rekomendasi yang dapat diberikan berdasarkan analisis yang telah dilakukan terhadap Bendungan Wonorejo yaitu dapat dioperasikan dalam kondisi normal tetapi tidak direkomendasikan untuk dioperasikan dalam kondisi darurat karena dapat mempengaruhi kestabilan lereng bendungan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah. 2004. *Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan Akibat Beban Gempa*. Jakarta: Balai Bendungan.
- Dharmawangsa, IGN Putu. 2014. *Analisis Keamanan Lereng Bendungan Utama Pada Bendungan Benel Di Kabupaten Jembrana*. Jurnal Spek-tran. Vol 2 No 2, Juli 2014.
- Dewa, Ghea Wedya Rangga. 2014. *Analisa Stabilitas Tubuh Bendungan Lolak Kabupaten Bolaang Mongondow Sulawesi Utara*. Skripsi. Tidak Dipublikasi. Malang: Universitas Brawijaya.
- Hanan, Zaid Ramadhan. 2014. *Analisis Stabilitas Lereng Bendungan Jatigede dengan Parameter Gempa Termodifikasi*. Skripsi. Tidak Dipublikasi. Malang: Universitas Brawijaya.
- Hasani, H. 2013. *Stability of Slope and Seepage Analysis in Earth Fills Dams Using Numerical Models (Case Study: Ilam DAM-Iran)*. World Applied Sciences Journal 21 (9): 1398-1402.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2011. *Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Urugan*. Jakarta: Balai Bendungan.

Nippon Koei. 1992. *Design Criteria for Civil Works*. Jakarta: Tidak diterbitkan.

Perusahaan Umum Jasa Tirta I. 2015. *Laporan Triwulan I Analisa dan Evaluasi Keamanan Tubuh Bendungan*. Malang: Tidak Diterbitkan.

Republik Indonesia. 2010. *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 Sebagai Acuan*

*Dasar Perencanaan Dan Perancangan Infrastruktur Tahan Gempa*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.

<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search>.  
Diakses tanggal 4 Agustus 2015.