

Analisis Penentuan Parameter Gempa Untuk Perhitungan Stabilitas Bendungan

*Ahmad Hidayawan¹ Andri Kurniawan² Bagas Wahyu Adhi³ Beni Setiyanto⁴ Hayu Rahayu⁵

^{1,2,3,4,5} Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Batik Surakarta

Email: *hidayawan11@gmail.com, Andrimartinez1991@gmail.com, Bagaswahyu54@gmail.com, benisetiyanto09@gmail.com, hayurahayu75@gmail.com

Abstrak

Bendungan memiliki peran penting dalam mengendalikan banjir dan menyediakan suplai air untuk kebutuhan infrastruktur dan masyarakat. Pembangunan Bendungan Pidekso, sebagai bagian dari upaya pemerintah, memerlukan penelitian untuk menentukan parameter gempa guna memastikan keamanannya. Bendungan Pidekso, terletak di sungai Bengawan Solo bagian hilir, rentan terhadap gempa karena berdekatan dengan wilayah yang sering terjadi gempa. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan parameter koefisien gempa *Operating Basis Earthquake (OBE)* dan *Maximum Design Earthquake (MDE)* berdasarkan peta gempa Indonesia tahun 2017. Analisis dilakukan untuk menilai resiko keruntuhan bendungan akibat gempa. Berdasarkan kriteria kelas resiko bendungan, Bendungan Pidekso memiliki kelas resiko tinggi dengan bobot total 30. Untuk analisis gempa OBE, koefisien gempa yang digunakan berkisar antara 0,1 hingga 0,15 g, dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 100 tahun. Sedangkan untuk gempa MDE, koefisien gempa berkisar antara 0,5 hingga 0,6 g, dengan periode ulang $T = 5000$ tahun.

Kata kunci: Bendungan, Gempa OBE dan MDE

Abstract

Dams have an important role in controlling floods and providing water supply for infrastructure and community needs. The construction of the Pidekso Dam, as part of government efforts, requires research to determine earthquake parameters to ensure the safety of its structure. Pidekso Dam, located in the downstream Bengawan Solo river, is prone to earthquakes because it is adjacent to areas where earthquakes often occur. This study aims to determine the parameters of the earthquake coefficient *Operating Basis Earthquake (OBE)* and *Maximum Design Earthquake (MDE)* based on the 2017 earthquake map of Indonesia. Analysis was conducted to assess the risk of dam collapse due to earthquakes. Based on the dam risk class criteria, Pidekso Dam has a high risk class with a total weight of 30. For OBE earthquake analysis, the earthquake coefficient used ranges from 0.1 to 0.15 g, with a probability of being exceeded by 2% in 100 years. As for MDE earthquakes, the earthquake coefficient ranges from 0.5 to 0.6 g, with a repeat period $T = 5000$ years.

Keywords: Dam, OBE, MDE. Earthquake



Copyright © 2024 The Author(s)

This is an open access article under the [CC-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) license.

1. PENDAHULUAN

Bendungan umumnya mempunyai fungsi sebagai pengendalian banjir serta menyuplai air pada jaringan daerah irigasi, air baku sarana pembangkit tenaga, pertanian, perikanan, dan rekreasi. Hal tersebut merupakan bagian yang tak terpisahkan dari bagian infra struktur dengan sosial, ekonomi dan lingkungan (Soetjiono, 2010). Pembangunan Bendungan Pidekso merupakan salah satu kegiatan prioritas Pemerintah. Lokasi Bendungan Pidekso terletak di sungai Bengawan Solo bagian hilir. Luas DAS

Bengawan Solo adalah 55 km². Lokasi bendungan terletak di sungai Bengawan Solo di hilir bendungan Gajah Mungkur, dengan daerah genangan meliputi Kecamatan Batuwarno, Kecamatan Giriwoyo Kecamatan Giriwoyo, Kabupaten Wonogiri Jawa Tengah. (Hidayawan *et al.*, 2023) Bendungan Pidekso merupakan bendungan dengan tipe urugan random dengan timbunan inti tegak, panjang puncak bendungan 387 meter, dan tinggi bendungan maksimum 32,00 m dari dasar sungai atau 44,00 m dari dasar galian.

Elevasi pondasi dari timbunan inti (+150,00) Elevasi puncak bendungan didesain pada (+El.189,00) sedangkan untuk tinggi jagaan (*free board*) dari muka air normal (+El.185,0) sebesar 4,00 m. Bendungan tipe urugan sangat rentan terjadi keruntuhan jika terjadi gempa.

mengingat lokasi Bendungan Pidekso yang berbatasan langsung dengan kabupaten Pacitan Provinsi Jawa timur yang seringkali terjadi gempa (Putra and Susantin, 2018). kerusakan bendungan yang disebabkan oleh gempa, diperlukan analisis mengenai keamanan bendungan tersebut supaya saat digunakan dapat berperan secara optimal.

Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui penentuan parameter koefisien gempa OBE, MDE untuk parameter perhitungan stabilitas Bendungan berdasarkan peta gempa Indonesia tahun 2017.

Geologi Regional

Studi regional dilakukan untuk mendapatkan data peta penampang geologi. Untuk mengerti sejarah kegempaan di suatu tempat perlu mempertimbangkan aspek regional dan kondisi lokal. Pada umumnya radius yang ditentukan untuk studi geologi regional minimum sekitar 200 km sampai 300 km dengan dari lokasi bendungan.

Geologi Lokal

Dalam menentukan karakteristik goncangan tanah dasar untuk mengetahui potensi gerakan sesaran utama padaa fondasi bendungann,diperlukan Informasi geologi dilok asitinjauan. Data geologi lokal dapat diperoleh dari literatur, laporan teknik tentang proyek tersebut, inspeksi di lokasi tinjauan, eksplorasi lapangan dan pengujian contoh batuan dan tanah.

Gempa Dasar Operasi (*Operating basis earthquake, OBE*)

Gempa OBE merupakan gempa dengan batasan goncangan dipermukaan tanah pada lokasi studi dengan 50% kemungkinan tidak terlampaui dalam kurun waktu 100 tahun, yang ditentukan secara probalistik. Bendungan dan bangunan pelengkapnnya masih berfungsi dengan baik dan mudah perbaikannya jika terjadi gempa dasar operasi, tapi tidak memperhitungkan tinjauan keamanan terhadap kehidupan manusia.

Gempa Desain Maksimum (*Maksimum design earthquake*)

Gempa MDE dapat menyebabkan goncangan terbesar dan mengancam kehidupan

karena kemungkinan runtuhnya bendungan di lokasi penelitian yang dipergunakan sebagai desain atau analisis. Oleh karena itu, agar kapasitas pengisian air waduk tetap terjaga, sebaiknya mengambil desain gempa maksimum pada batas yang sama.

Kriteria Beban Gempa untuk Desain Bendungan

Pemilihan parameter dalam evaluasi gempa terdapat beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan antara lain.

- 1) Pengaruh tingkat kerusakan
Secara geografis, jika beberapa tempat cenderung akan mengalami goncangan gempa lebih tinggi dibandingkan dengan lokasi yang lain. Klasifikasi tingkat kerusakan dapat dibuat berdasarkan percepatan gempa maksimum (PGA) yang kemungkinan akan terjadi pada MDE (Meeting and Petersburg, 2007). Penentuan dengan metode ini dilakukan dengan menggunakan peta zona gempa. Yang diuraikan pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Tingkat kerusakan menurut besarnya PGA (*Peak ground acceleration*)

Percepatan gempa maksimum (PGA = a_d)	Klasifikasi tingkat Kerusakan
$PGA < 0,1 g$	I (Rendah)
$0,10 \leq PGA < 0,25g$	II (Moderat)
$PGA \geq 0,25g$ Tidak terdapat Sesaran aktif dalam jarak 10 km dari lokasi	III (Tinggi)
$PGA \geq 0,25g$ Sesaran aktif dalam jarak 10 km dari lokasi	IV (Ekstrem)

- 2) Kelas resiko Bendungan

Tingkat resiko menentukan kelas beban gempa yang harus digunakan dalam desain, seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Kriteria faktor resiko untuk evaluasi keamanan bendungan

Angka abobot dalam kurung

Faktor resiko	Ekstrem	Tinggi	Moderat	Rendah
Kapasitas (1 0 ⁶ m ³) (FK _t)	>100 (6)	100-1.25 (4)	1,00-0,125 (2)	<0,125 (0)
Tinggi (m) (FK _t)	>45 (6)	45-30 (4)	30-15 (2)	<15 (0)
Kebutuhan evakuasi (Jumlah orang) (FR _e)	>1000 (12)	1000-100 (8)	100-1 (4)	0 (0)
Tingkat Kerusakan hilir (FR _h)	Sangat tinggi (12)	Tinggi (8)	Moderat (4)	Tidakada (0)

Terdapat empat faktor resiko yang perlu dipertimbangkan dalam analisis meliputi :

- kapasitas waduk
- tinggi bendungan
- kebutuhan evakuasi
- kerusakan di hilir.

Setiap faktor resiko dibagi lagi menjadi kondisi resiko ekstrem, tinggi, moderat, dan rendah, dengan bobot masing-masing tercantum dalam tanda kurung. Penentuan kelas beban gempa dilakukan dengan menghitung total faktor resiko (FK_{tot}), yang merupakan hasil penjumlahan dari faktor resiko pengaruh kapasitas waduk (FK_k), tinggi bendungan (FR_t), kebutuhan evakuasi (FR_e), dan pengaruh tingkat kerusakan di hilir (FR_h), sesuai dengan persamaan berikut.

$$(FK_{tot}) = (FR_k) + (FR_t) + (FR_e) + (FR_h) \quad (1)$$

(FK_{tot}) faktor resiko total (bobot)
(FR_k) faktor resiko pengaruh kapasitas waduk
(FR_t) faktor resiko pengaruh tinggi .
(FR_e) faktor resiko evakuasi (bobot)
(FR_h) faktor resiko tingkat kerusakan hilir (bobot).

diperoleh dari pedoman klasifikasi bahaya pada bendungan.

3) Kriteria beban gempa untuk desain Bendungan

Berdasarkan faktor resiko total, kelas resiko untuk desain seperti diuraikan pada tabel 2 terbagi atas

- kelas 1 (rendah)
- kelas 2 (Moderat),
- kelas 3 (tinggi)

kelas 4 (Ekstrem).

Kriteria beban gempa ditinjau berdasarkan tabel 3 dan ditentukan menurut kelas resiko. Analisis yang dilakukan dengan dua tingkat gempa, sebagai berikut

Tabel 3. Kelas resiko bendungan dan bangunan air

Persyaratan untuk memungkinkan kerusakan tanpa terjadinya keruntuhan dengan

Faktor Resiko total	Kelas resiko
(0-6)	I (Rendah)
(7-18)	II (Moderat)
(19-30)	III (Tinggi)
(31-36)	IV (Ekstrem)

periode ulang T ditetapkan (OBE), sehingga beban gempa dapat diperoleh dari peta zona gempa. Analisis dilakukan dengan menggunakan koefisien gempa.

Persyaratan yang memperbolehkan adanya kerusakan tanpa terjadinya keruntuhan dengan periode ulang T ditetapkan untuk kelas 1, 2, 3, dan 4 sehingga percepatan gempa maksimum di permukaan tanah dapat diperoleh dari peta zona gempa. Analisis dilakukan secara dinamik dengan menggunakan ragam respons gempa atau sejarah waktu percepatan gempa.

Bendungan harus mampu menahan gempa dengan desain MDE tanpa mengalami keruntuhan atau diperbolehkan adanya kerusakan dengan ketinggian alihan tetap tidak melebihi 50% dari tinggi jagaan bendungan (Balai Bendungan, 2008).

Tabel 4. Kriteria beban gempa untuk desain bendungan

Kelas Resiko dengan masa guna	Persyaratan tanpa kerusakan		Persyaratan diperkenankan ada kerusakan tanpa keruntuhan	
	T (Thn)	Metode Analisis	T (tahun)	Metode Analisis
IV N = 50 -100	100-200 $a_d \geq 0,1$ g	Koef Gempa	10.000 (MDE)	Koef Gempa atau dinamik
III N = 50 -100	50-100 $a_d \geq 0,1$ g	Koef Gempa	5000 (MDE)	Koef Gempa atau dinamik
II N = 50 -100	50-100 $a_d \geq 0,1$ g	Koef Gempa	3000 (MDE)	Koef Gempa atau dinamik
I N = 50 -100	50-100 $a_d \geq 0,1$ g	Koef Gempa	3000 (MDE)	Koef Gempa atau dinamik

2. METODE

Metode penelitian analisis gempa termodifikasi memerlukan pendekatan yang cermat dan

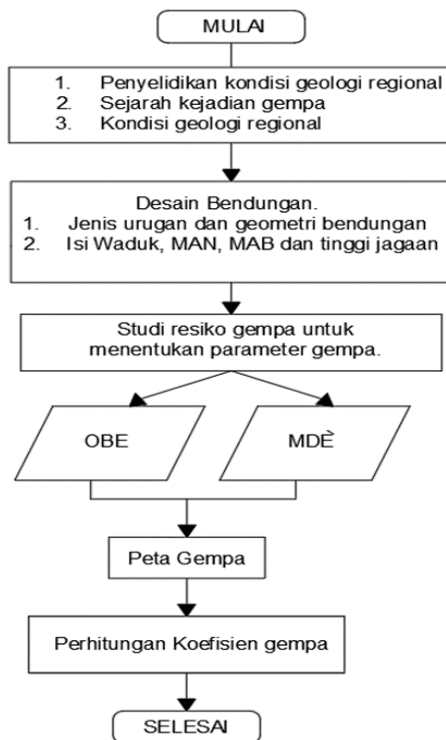
terstruktur. Analisis dengan Cara Koefisien Gempa (*Pseudostatic Analyses*) Analisis gempa untuk desain bendungan dan bangunan pengairan tahan gempa dilakukan dengan cara sebagai berikut :

Cara Koefisien Gempa Termodifikasi

Perlu memodifikasi untuk cara koefisien gempa yang telah dijelaskan karena perlu diperbaharui. Oleh karena itu, digunakan metode dari Jepang yang disebut "*Seismic Design Guideline for Fill Dam*") (Hernández *et al.*, 2008), dengan koefisien gempa desain $K_h = a(d)/g$. Koefisien gempa desain pada tubuh bendungan yang merupakan fungsi dari kedalaman dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$K_o = a_2 \times K_{oh} \quad (2)$$

Kerangka Analisis



Gambar 1. Tahapan Penelitian

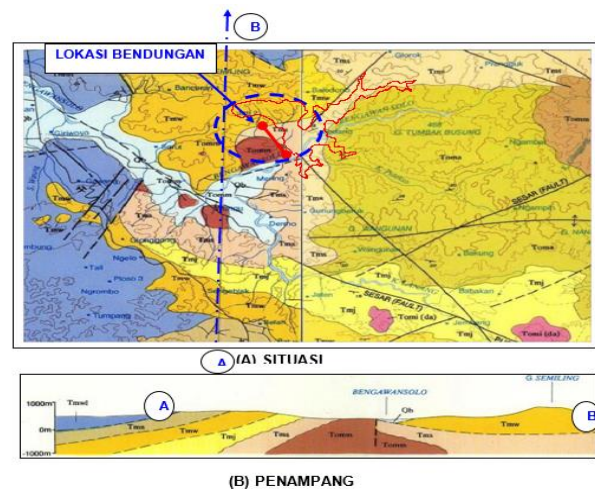
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Geologi Regional

Morfologi daerah penyelidikan merupakan bagian dari Pegunungan Selatan Jawa, yang memiliki ketinggian wilayah berkisar antara 300-700 M dari permukaan laut, dan ber relief sedang - kasar, dan di beberapa lokasi setempat sangat kasar. Secara umum bentang alam tersebut menurun elevasinya ke arah barat dan barat daya. Puncak - puncak tertinggi di bagian utara, timur dan selatan, berturut-turut G. Semiling (dengan ketinggian

+650 m), G. Tumbak Busung (dengan ketinggian +700 m) dan G. Wangunan (dengan ketinggian +750 m). Hampir seluruh daerah penyelidikan tersusun oleh batuan gunung api, dan sebagai bahan acuan adalah Peta Geologi Lembar Surakarta - Giritontro (Suroño, 2009) dan Lembar Pacitan (Samodra, 1992), masing-masing dengan skala 1 : 100.000, (lihat Gambar 2). Wilayah ini adalah merupakan bagian dari wilayah Pegunungan Selatan Jawa.

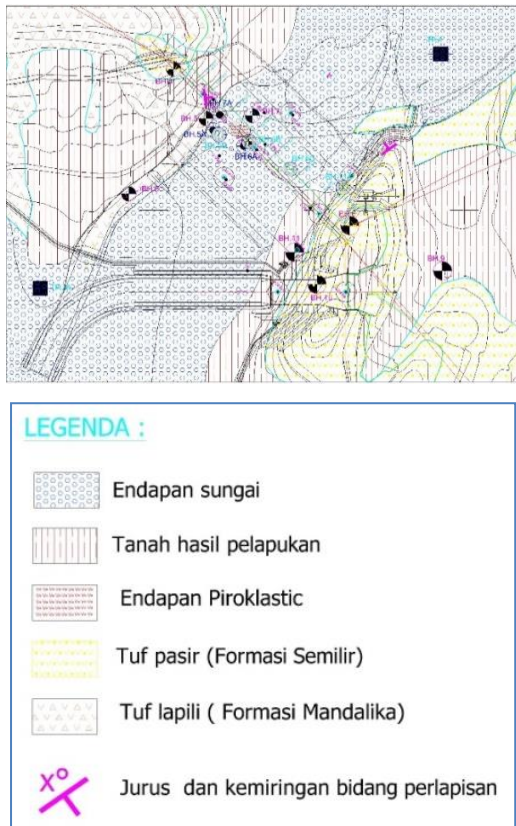
Kelompok batuan gunung api berumur Tersier yang tersingkap di Pegunungan Selatan, adalah adanya perselingan breksi pumis dan tuf dengan aliran lava basal berstruktur bantal, batu pasir, serpih, serta lava dan breksi andesit. Walaupun selama ini belum dapat diketahui letak sumber kegiatan gunung api purba sebagai penghasil batuan gunung api tersebut.



Gambar 2. Peta Geologi Regional dan Penampang Melintang Stratigrafi Geologi sekitar lokasi Bendungan Pidekso

Geologi Lokal

Batuan yang tersingkap di daerah sekitar tebing dan dasar sungai hingga lereng bagian atas sekitar punggung perbukitan tumpuan kanan, adalah berupa tuf lapilli (dibandingkan dengan batuan dari Formasi Mandalika/Tomm bisa juga dari batuan Formasi Arjosari/Tmoa), tuf pasir, komponen dasitik-andesitik, berwarna abu-abu putih kecoklatan, melapuk menengah-tinggi termasuk dalam klasifikasi masa batuan MW sampai dengan HW, agak padu-padu, mudah hancur-agak keras, massif, setempat di bagian permukaannya mengalami breksiasi dan terkekarkan (retakan terisi oleh kuarsa), dan bersifat mudah hancur.



Gambar 3. Peta Geologi lokal

Data Umum Bendungan

Tabel 5. Data umum bendungan

Data Umum	Keterangan	Satuan
Kapasitas tampungan	25 jt	m ³
Tinggi Bendungan	40 m	m
Kebutuhan Evakuasi	>1000	orang
Tingkat kerusakan hilir	Tinggi	

Kriteria Faktor Risiko

Berdasarkan data umum bendungan serta tabel kelas resiko bendungan maka Perhitungan dengan rumusan kriteria faktor resiko sebagai berikut

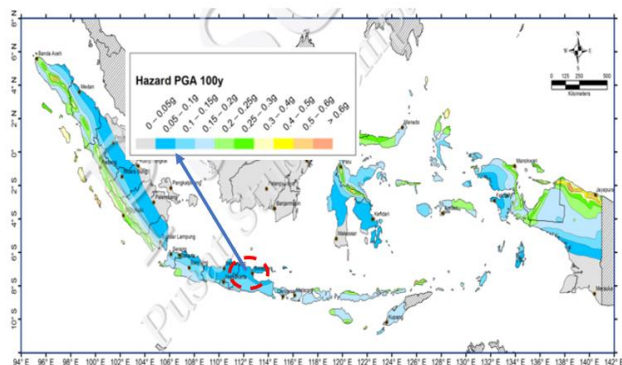
$$\begin{aligned} (FK_{tot}) &= (FR_k) + (FR_t) + (FR_e) + (FR_h) \\ (FK_{tot}) &= 4 + 4 + 12 + 10 \\ (FK_{tot}) &= 30 \end{aligned}$$

Sehingga berdasarkan tabel kelas resiko bendungan, untuk bendungan pidekso masuk dalam kelas resiko tinggi. Pada table kriteria beban gempa untuk desain bendungan diketahui bahwa kelas resiko bendungan pidekso termasuk kelas yang tinggi dengan masa guna 50-100 tahun untuk persyaratan tanpa kerusakan (OBE). Dan ulang gempa 5000 tahun untuk analisis

perhitungan dengan menggunakan beban gempa MDE.

Menentukan Nilai Koefisien Gempa OBE

Tahap awal untuk menentukan nilai koefisien gempa OBE adalah dengan melihat peta zona gempa di Indonesia, dimana dalam peta tersebut terdapat nilai percepatan puncak di batuan dasar SB untuk periode ulang gempa 100 Tahun. Berdasarkan percepatan puncak di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 100 th. Dapat di lihat bahwa Kabupaten wonogiri terletak pada ujung selatan pulau jawa yang berbatasan langsung dengan kabupaten pacitan dan samudera Indonesia. Untuk analisis perhitungan dengan menggunakan beban gempa OBE didapat angka koefisien dari peta gempa sebesar 0,1 – 0,15 g dapat di lihat pada gambar 4 Peta di bawah ini.



(National Center for Earthquake Studies, 2017)

Gambar 4. Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia PGA 100 tahun

Kondisi Muka Air Banjir, Muka Air Normal

$$K_{100} = 0,150 \text{ (didapat dari peta zona gempa)}$$

$$\begin{aligned} K_0 &= a_2 \times Kh \\ &= 0,50 \times 0,150 \\ &= 0,0750 \end{aligned}$$

$$K = K_0 \times (2,5 - 1,85 \times (Y/h))$$

$$K_v = (Kh \times 2)/3$$

$$\begin{aligned} K(y/h 0,25) &= K_0 \times (2,5 - 1,85 \times (Y/h)) \\ &= 0,075 \times (2,5 - 1,85) \times 0,25 \\ &= \mathbf{0,1528} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K(y/h 0,5) &= K_0 \times (2,5 - 1,85 \times (Y/h)) \\ &= 0,075 \times (2,5 - 1,85) \times 0,5 \\ &= \mathbf{0,1275} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K(y/h 0,75) &= K_0 \times (2,5 - 1,85 \times (Y/h)) \\ &= 0,075 \times (2,5 - 1,85) \times 0,75 \\ &= \mathbf{0,1163} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K(y/h 1) &= K_0 \times (2,5 - 1,85 \times (Y/h)) \\ &= 0,075 \times (2,5 - 1,85) \times 1 \\ &= \mathbf{0,1050} \end{aligned}$$

$$K_v(y/h 0,25) = (K \times 2)/3 = 0,420$$

$$= (0,1528 \times 2) / 3 = 0,1019 = 0,2800$$

$$K_v(y/h 0,5) = (K \times 2)/3 = (0,1275 \times 2) / 3 = 0,850$$

$$K_v(y/h 0,75) = (K \times 2)/3 = (0,1163 \times 2) / 3 = 0,0775$$

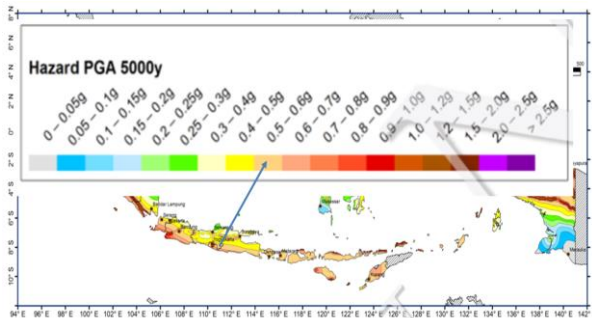
$$K_v (y/h 1) = (K \times 2)/3 = (0,1050 \times 2) / 3 = 0,0700$$

Tabel 6. Resume Parameter gempa OBE pada kondisi Muka Air Normal, Muka Air Banjir

Y/H	0.25	0.5	0.75	1
Kh	0.1528	0.1275	0.1163	0.1050
Kv	0.1019	0.850	0.775	0.0700

Menentukan Nilai Koefisien Gempa MDE

Persyaratan diperkenankan ada kerusakan, tetapi tanpa keruntuhan pada periode ulang $T = 5000$ tahun (MDE) Dari peta zona gempa di Indonesia berikut, nilai percepatan puncak di batuan dasar SB untuk periode ulang gempa 5000 tahun untuk analisis perhitungan dengan menggunakan beban gempa MDE didapat angka 0,5 – 0,6 g dapat di lihat pada gambar Peta di bawah ini.



(National Center for Earthquake Studies, 2017)

Gambar 5. Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia PGA 5000 tahun

Perhitungannya sebagai berikut :

Keadaan Muka air Banjir, Normal dan Rendah
 $K_{100} = 0,60$ (didapat dari peta zona gempa

$$K_0 = a_2 \times K_h = 0,5 \times 0,6 = 0,3$$

$$K = K_0 \times (2,5 - 1,85 \times (Y/h))$$

$$K_v = (K_h \times 2)/3$$

Tabel 7. Parameter gempa MDE pada kondisi Muka Air Normal, Muka Air Banjir

Y/H	0.25	0.5	0.75	1
Kh	0,6113	0,5100	0,4650	0,420
Kv	0,4075	0,3400	0,3100	0,2800

$$K y/h (0,25) = K_0 \times (2,5 - 1,85 \times (Y/h)) = 0,3 \times (2,5 - 1,85) \times 0,25 = 0,6113$$

$$K y/h (0,5) = K_0 \times (2,5 - 1,85 \times (Y/h)) = 0,3 \times (2,5 - 1,85) \times 0,5 = 0,5100$$

$$K y/h (0,75) = K_0 \times (2,5 - 1,85 \times (Y/h)) = 0,3 \times (2,5 - 1,85) \times 0,75 = 0,4650$$

$$K y/h (1) = K_0 \times (2,5 - 1,85 \times (Y/h)) = 0,3 \times (2,5 - 1,85) \times 1$$

$$K_v y/h(0,25) = (K \times 2)/3 = (0,6113 \times 2) / 3 = 0,4075$$

$$K_v y/h (0,5) = (K \times 2)/3 = (0,5100 \times 2) / 3 = 0,3400$$

$$K_v y/h (0,75) = (K \times 2)/3 = (0,4650 \times 2) / 3 = 0,3100$$

$$K_v y/h (1) = (K \times 2)/3 = (0,420 \times 2) / 3$$

4. SIMPULAN

Gempa merupakan ancaman serius bagi keandalan struktur bendungan dan memerlukan penanganan khusus dalam perencanaan dan perhitungan. Berdasarkan hasil analisis yang sudah dilakukan dapat disimpulkan kesimpulan sebagai berikut:

- Berdasarkan tabel kelas resiko bendungan untuk kapasitas tampungan waduk angka bobotnya nilainya 4, kemudian untuk tinggi bendungann nilainya 4. Mengingat kebutuhan evakuasi di atas 1000 jiwa maka nilainya 12 dan tingkat kerusakan hilir nilainya 10. Sehingga jika di total nialinya menjadi 30
- Berdasarkan penilaian dari tabel kelas resiko bendungan pidekso masuk dalam kriteria kelas resiko tinggi

- c. Bendungan padekso masuk dalam kategori kelas III (kriteria kelas resiko tinggi) sehingga untuk analisis gempa OBE percepatan puncak dibatukan dasar untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 100 th beban gempa OBE didapat angka koefisien dari peta gempa sebesar 0,1 – 0,15 g
- d. Untuk gempa MDE Persyaratan diperkenankan ada kerusakan, tetapi tanpa keruntuhan pada periode ulang $T = 5000$ tahun (MDE) untuk analisis perhitungan dengan menggunakan beban gempa MDE didapat angka koefisien dari peta gempa sebesar 0,5 – 0,6 g
- e. Parameter gempa OBE dari hasil perhitungan untuk masing-masing tinggi bendungan

Y/H	0.25	0.5	0.75	1
Kh	0,1528	0,1275	0,1163	0,1050
Kv	0,1019	0,850	0,775	0,0700

- f. Parameter gempa MDE dari hasil perhitungan untuk masing-masing tinggi bendungan

Y/H	0.25	0.5	0.75	1
Kh	0,6113	0,5100	0,4650	0,420
Kv	0,4075	0,3400	0,3100	0,280

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Kami ucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu pelaksanaan penelitian.

6. DAFTAR PUSTAKA

Balai Bendungan (2008) *Prinsip Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar, Diklat Teknis Perencanaan Bendungann Tingkat Dasar*.

https://bpsdm.pu.go.id/center/pelatihan/uploads/dok/2018/04/5637f_MDL_Prinsip_Perencanaan_Bendungan.pdf.

Hernández, U.M. *et al.* (2008) ‘Seismic Guidelines For Earth and Rock Fill Dams’, *14th World Conference on Earthquake Engineering (14WCEE)* [Preprint], (March 2016).

Hidayawan, A. *et al.* (2023) ‘Analisis Sattlement Puncak Bendungan Akibat Proses Konsolidasi dalam Penentuan Camber’, *MoDuluS Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil*, 5(1), pp. 1–5. Available at: <https://doi.org/10.32585/modulus.v5i1.4397>.

Meeting, A. and Petersburg, S. (2007) ‘Trial Implementation Of New Japanese Guidelines For Seismic Performance Evaluation Of Dams’.

National Center for Earthquake Studies (2017) *Peta sumber bahaya dan gempa Indonesia*.

Putra, D.N. and Susantin, S.H. (2018) ‘Analisis Stabilitas Tubuh Bendungan Raknamo (Hal. 95-104)’, *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 4(3), p.95.

Soetjiono, C. (2010) ‘Gagasan Revitalisasi Bendungan Urugan dalam Mendukung Pengelolaan Sumber Daya Air’, *Jurnal Sumber Daya Air*.

Surono (2009) ‘Litostratigrafi Pegunungan Selatan Bagian Timur Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah’, *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 19(3), pp. 209–221.

Samodra, H, Gafoer, S, dan Tjokrosapoetro, S. 1992. *Peta Geologi lembar Pacitan, Jawa. Sekala 1:100.000. Puslitbang Geologi*. Bandung.