

Analisis Stabilitas Bendungan Jragung Terhadap Beban Gempa Menggunakan Metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis*

Afif Nur Mu'amar^{1*}, Hendra Wahyudi¹, Deris Faisa Rallindra¹, Rizki Robbi Rahman Alam¹

¹⁾ Departemen Teknik Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111,

*Corresponding Author's email: afifnurm212@gmail.com

Diterima : 2 Maret 2025
Direvisi : 10 April 2025

Disetujui : 11 April
Diterbitkan : 30 Mei 2025

Abstract: Jragung Dam in Semarang Regency, Central Java, is located in an earthquake-prone area due to the presence of the Semarang and Ungaran faults, making it vulnerable to infrastructure damages. This study analyzes the stability of the dam using static and dynamic methods with MDE (Maximum Design Earthquake) earthquake loads through simulations of various reservoir water level conditions. The potential earthquake hazard at the site was analyzed using PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis), with reference to SNI 8064:2016 and Pd-T 14-2004-A. Earthquake data (time history) was obtained from the United States Geological Survey (USGS). The analysis showed peak ground acceleration (PGA) values of 0.157 for a 100-year return period earthquake and 0.605 for a 10,000-year return period earthquake. The static analysis indicates that the Jragung Dam has an above-standard factor of safety under no earthquake and OBE earthquake conditions, but is unsafe under MDE earthquake conditions. Dynamic analysis showed that vertical displacement under various reservoir water level conditions (empty, normal, flood, and rapid drawdown) was within standard limits, with a maximum value of 2.273 m under flood water level conditions.

Keywords : dynamic analysis; earthquake; Jragung Dam; GeoStudio 2018; static analysis; PSHA.

Abstrak: Bendungan Jragung, yang terletak di Kabupaten Semarang, Jawa Tengah, berada di daerah rawan gempa bumi akibat keberadaan Sesar Semarang dan Sesar Ungaran sehingga rentan terhadap kerusakan infrastruktur. Penelitian ini menganalisis stabilitas bendungan menggunakan metode statik dan dinamik dengan beban gempa MDE (Maximum Design Earthquake) melalui simulasi berbagai kondisi muka air waduk. Potensi bahaya gempa di lokasi dianalisis menggunakan PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis), dengan acuan SNI 8064:2016 dan Pd-T 14-2004-A. Data gempa (time history) diperoleh dari USGS (United States Geological Survey). Hasil analisis menunjukkan nilai akselerasi tanah puncak (PGA) sebesar 0,157 untuk gempa kala ulang 100 tahun dan 0,605 untuk gempa kala ulang 10.000 tahun. Analisis statik mengindikasikan bahwa Bendungan Jragung memiliki faktor keamanan di atas standar pada kondisi tanpa gempa dan gempa OBE, namun tidak aman pada kondisi gempa MDE. Analisis dinamik menunjukkan displacement vertikal pada berbagai kondisi muka air waduk (kosong, normal, banjir, dan rapid draw-down) masih berada dalam batas standar, dengan nilai maksimum 2,273 m pada kondisi muka air banjir.

Kata kunci : analisis dinamik; gempa bumi; Bendungan Jragung; GeoStudio 2018; analisis statik; PSHA.

1. PENDAHULUAN

Proyek Pembangunan Bendungan Jragung merupakan salah satu dari 200 Proyek Strategis Nasional dengan maksud untuk peningkatan pertumbuhan dan pemerataan pembangunan dalam rangka meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan pembangunan daerah. Hal ini sesuai Peraturan Presiden Nomor 109 Tahun 2020.

Proyek Bendungan Jragung ditargetkan akan selesai dan siap memasuki masa operasi pada tahun 2025. Pada masa operasi dan pemeliharaan, Bendungan Jragung nantinya akan menjadi *multipurpose dam* dengan fungsi penyaluran air baku daerah Semarang, Demak dan Grobogan, fungsi penyaluran air irigasi, fungsi pengendalian banjir, fungsi Pembangkit Listrik Tenaga

Mikro Hidro (PLTMH), serta fungsi pariwisata. Menurut karakteristik geologinya, Kota Semarang berada pada daerah Kraton sunda (bagian tenggara Lempeng benua Eurasia) [1]. Kota Semarang juga termasuk daerah rawan gempa bumi karena terdapat sumber aktif gempa, yaitu Sesar Semarang dan Sesar Ungaran [2].

Gempa bumi adalah peristiwa alam yang terjadi akibat pergerakan lempeng bumi, baik yang disebabkan oleh aktivitas tektonik maupun vulkanik [3]. Katalog gempa bumi merusak Indonesia tahun 1612-2014 menunjukkan di Kota Semarang pernah terjadi gempa bumi yang berdampak pada beberapa desa di kota tersebut [4]. Terdapat dua gempa yang merusak, yaitu pada tahun 1856 dengan skala *Modified Mercalli Intensity* (MMI) sebesar VI-VII dan pada tahun 2014 sebesar IV-V[5]. Meski tidak menimbulkan korban jiwa, gempa ini menimbulkan kerugian yang cukup signifikan dan memiliki potensi untuk terjadi kembali.

Dengan adanya potensi gempa seperti itu, penelitian ini melakukan analisis stabilitas bendungan dengan menggunakan metode PSHA (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*). PSHA menggabungkan informasi tentang lokasi dan karakteristik sumber gempa, frekuensi kejadian gempa, dan model peredaman gelombang gempa bumi (*ground motion attenuation*) untuk memperkirakan probabilitas terjadinya percepatan tanah tertentu atau *Peak Ground Acceleration* dalam kurun waktu tertentu di suatu lokasi [6]. Penentuan metode tersebut ditentukan dalam peraturan perencanaan yang berlaku di Indonesia, yaitu Pd-T 14-2004-A untuk analisis bendungan urugan terhadap beban gempa. Menurut peraturan Pd-T 14-2004-A pemilihan parameter gempa bum dapat dilakukan secara deterministik atau secara probabilistik bencana gempa atau kombinasi keduanya. Metode PSHA memungkinkan untuk menentukan tingkat ancaman gempa bumi di lokasi tertentu yang dianalisis [7]. Metode PSHA digunakan untuk meninjau ulang nilai PGA yang didapat dari PUSAIR (Pusat Penelitian Pengembangan Sumber Daya Air) dan beberapa penelitian terdahulu diharapkan akan diperoleh hasil yang lebih akurat dengan pemodelan sumber 2D dan penggunaan fungsi atenuasi generasi baru.

Metode PSHA secara umum berkerja dengan memperhatikan sumber gempa disertai dengan data historikal kegempaan lalu di hitung dengan *Ground Motion Prediction equation* (GMPE)[8]. *Ground motion prediction equation* adalah metode atau formula untuk memperkirakan gerakan, seperti percepatan, kecepatan, simpangan, dan intensitas gempa, yang cenderung berkurang seiring dengan bertambahnya jarak dari sumber gempa [9]. Metode PSHA dipilih karena memiliki keunggulan dapat memprediksi kejadian gempa hingga ribuan tahun kedepan bergantung pada kelengkapan data yang dimilikinya dan kekurangan dari metode ini ialah

banyaknya asumsi atau ketidakpastian yang timbul dalam melakukan analisis sehingga diperlukan parameter kontrol atau acuan [10].

Penelitian ini difokuskan pada evaluasi stabilitas lereng Bendungan Jragung melalui pendekatan analisis statik dan dinamik dalam berbagai skenario kondisi operasional. Analisis stabilitas statik dilakukan untuk menilai tingkat keamanan bendungan dalam situasi tanpa beban gempa, serta saat mengalami gempa dengan tingkat OBE (*Operational Basis Earthquake*) dan MDE (*Maximum Design Earthquake*). Evaluasi ini mempertimbangkan variasi kondisi muka air waduk, termasuk kondisi muka air rendah, normal, banjir, serta kondisi penurunan muka air secara cepat (*rapid drawdown*), baik pada sisi hulu maupun hilir bendungan, guna memperoleh gambaran menyeluruh terhadap kinerja struktur bendungan dalam menghadapi beban statik maupun dinamik[11]. Selain itu, stabilitas dinamik lereng bendungan pada kondisi MDE juga dianalisis untuk memahami responsnya terhadap berbagai skenario muka air tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method / FEM*) untuk menganalisis stabilitas bendungan dalam kondisi statik dan dinamik. FEM membagi objek analisis menjadi elemen-elemen kecil yang saling terhubung melalui *node*, memungkinkan pemodelan yang akurat terhadap respons struktur. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak GeoStudio 2018, khususnya modul SLOPE/W untuk analisis stabilitas lereng statik dan QUAKE/W untuk analisis dinamik akibat gempa.

Simulasi statik dilakukan pada empat kondisi muka air: muka air kosong, normal, banjir, dan rapid drawdown, dengan menghitung Faktor Keamanan (FK) masing-masing kondisi untuk mengevaluasi stabilitas lereng berdasarkan SNI 8460:2017.

Untuk simulasi dinamik, analisis *Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)* dilakukan terlebih dahulu menggunakan perangkat lunak R-CRISIS 20.0 dan Z.MAP. Data gempa diperoleh dari katalog USGS, ANSS, IRIS, dan ISC dengan parameter lokasi, magnitudo, kedalaman, dan waktu kejadian. Proses PSHA melibatkan tahapan declustering, pemodelan sumber gempa (*fault-based*), estimasi parameter seismik (*a* dan *b value*), serta penentuan fungsi atenuasi (*Ground Motion Prediction Equations/GMPE*) yang sesuai dengan kondisi geologi Indonesia. Nilai percepatan tanah maksimum (PGA) pada permukaan ditentukan setelah proses amplifikasi menggunakan metode konvolusi 1D.

Hasil analisis PSHA berupa *ground motion time history* digunakan sebagai input dinamik ke dalam

simulasi FEM menggunakan QUAKE/W, untuk mengetahui respons dinamis bendungan seperti displacement (perpindahan) dan tekanan air pori akibat beban gempa MDE (*Maximum Design Earthquake*). Integrasi hasil PSHA dengan pemodelan FEM ini memungkinkan evaluasi menyeluruh terhadap performa struktur bendungan terhadap beban gempa ekstrem.

3. HASIL PEMBAHASAN

Hasil Pengumpulan Data Rekam Gempa

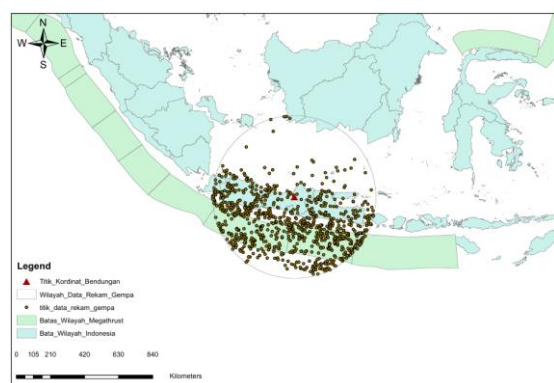
Rekam data kejadian gempa sebelumnya menjadi sumber utama dalam proses analisis *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA). Dalam studi ini, data gempa diperoleh dari tiga sumber katalog utama, yaitu *International Seismological Centre* (ISC), *United States Geological Survey* (USGS), dan *Advanced National Seismic System* (ANSS). Rekapitulasi hasil pengumpulan data gempa disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Data Gempa 3 Katalog dari Tahun 1900 - 2023

No	Katalog Gempa	Jumlah Data Gempa
1.	ISC	3.526
2.	USGS	3.996
3.	ANSS	3.220
Total		10.142

Sumber: Website USGS, ANSS, ISC

Untuk lebih jelasnya, hasil pengumpulan data dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



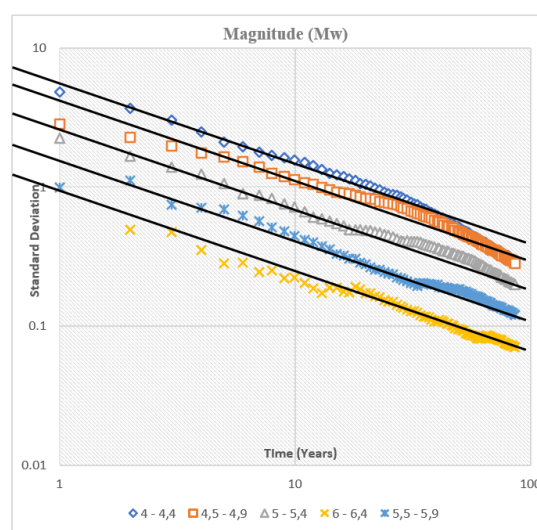
Gambar 1 . Peta Persebaran Gempa Utama Pada Lokasi Tinjauan

Analisis Kelengkapan Data Gempa

Data dari semua katalog mencakup gempa susulan (*foreshock* dan *aftershock*) serta gempa utama (*mainshock*), namun hanya gempa utama yang digunakan dalam perhitungan PSHA. Untuk memisahkan gempa utama dari gempa susulan (*declustering*), penelitian ini menggunakan metode

Gardner dan Knopoff (1974) yang diimplementasikan melalui program ZMAP yang dikembangkan oleh Wiemer [12].

Setelah proses declustering, dilakukan analisis kelengkapan data gempa. Ketidaklengkapan data dapat menyebabkan parameter seismik menjadi terlalu tinggi (*overestimated*) atau terlalu rendah (*underestimated*). Metode Stepp (1973) digunakan untuk memastikan kelengkapan data dengan membagi gempa ke dalam beberapa rentang magnitudo [13]. Data dari setiap rentang tersebut kemudian dianalisis berdasarkan jumlah kejadian gempa, frekuensi kemunculan, dan standar deviasi. Hasil kelengkapan data disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2 . Hasil Uji Kelengkapan Data Metode Stepp (1973)

Berdasarkan pengamatan visual terhadap grafik kelengkapan data, rentang tahun dengan data gempa yang lengkap disajikan dalam Tabel 2.

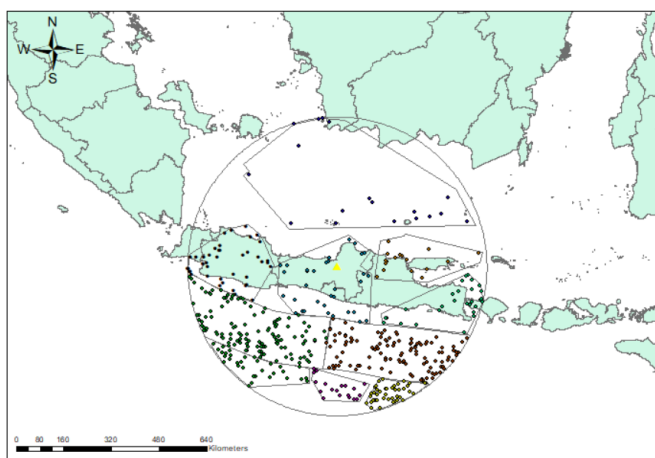
Tabel 1 . *Interval Completeness* Dari Data Gempa

Magnitudo Range	Completeness (year)	Period
$4 \leq M_w \leq 4,4$	30	
$4,5 \leq M_w \leq 4,9$	86	
$5 \leq M_w \leq 5,4$	86	
$5,5 \leq M_w \leq 5,9$	86	
$6 \leq M_w \leq 6,4$	70	

Hasil Pemodelan Sumber Gempa

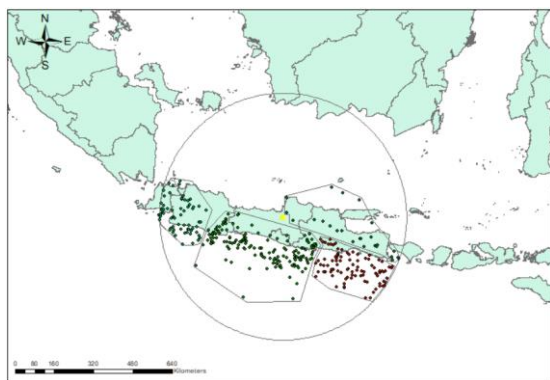
Pada penelitian ini, sumber gempa dimodelkan dengan membagi wilayah ke dalam tiga kedalaman,

yaitu 0-50 km, 50-175 km, dan 175-300 km. Visualisasi hasil pemodelan sumber gempa disajikan pada **Gambar 3**.



Gambar 3 . Hasil Pengelompokan Gempa Interval kedalaman 0 Hingga 50 Km

Pengelompokan data gempa pada kedalaman 0 hingga 50 km menghasilkan 10 poligon. Poligon yang terbentuk terdiri dari 7 poligon sebagai sumber gempa patahan dan 2 poligon sumber gempa subduksi yaitu *Megathrust West Central Java*, *Megathrust East Java*, dan *Megathrust Sumba* (lihat **Gambar 4**).



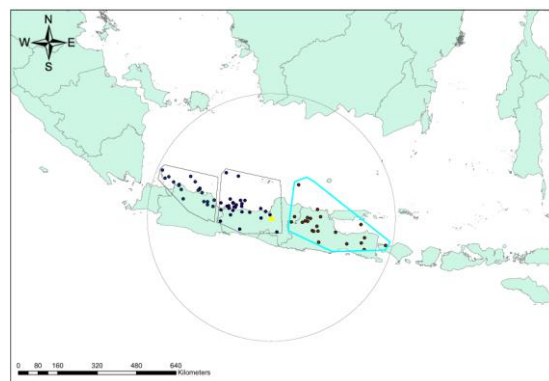
Gambar 4 . Hasil Pengelompokan Gempa Interval kedalaman 50 Hingga 175 Km

Pengelompokan data gempa pada kedalaman 50 hingga 175 km menghasilkan 6 poligon sebagai sumber gempa *deep background*. Pengelompokan data gempa pada kedalaman 175 hingga 300 km menghasilkan 3 poligon sebagai sumber gempa *deep background* (lihat **Gambar 5**).

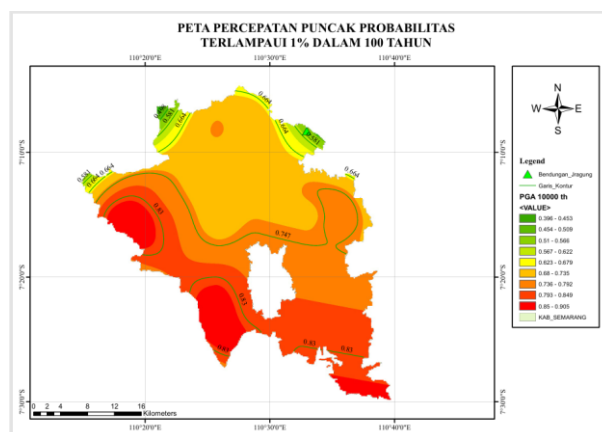
Seismic Hazard Maps

Analisis PSHA yang dilakukan menggunakan fungsi atenuasi serta pembobotan *logic tree* dan Penyelesaian dari masing-masing persamaan atenuasi

dilakukan menggunakan *software* R-CRISIS ver 20.3 dan di-plot menggunakan *software* ArcMap. Hasil analisis berupa nilai intensitas terhadap waktu pada titik tinjauan dari tiap kala ulang disajikan dalam **Gambar 6** hingga **Gambar 13**.



Gambar 5 . Hasil Pengelompokan Gempa Interval kedalaman 175 Hingga 300 Km



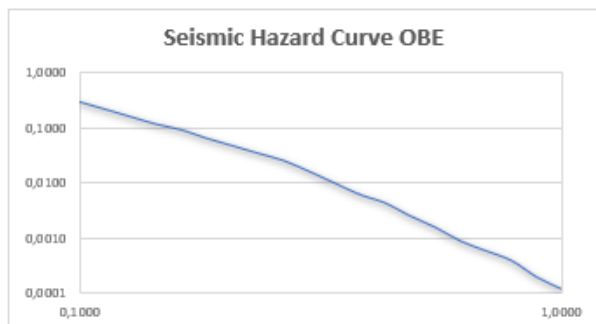
Gambar 6. Peta Percepatan Puncak Probabilitas Terlampaui 1% dalam 100 Tahun

Hasil dari analisis PSHA pada lokasi tinjauan menunjukkan kenaikan nilai PGA berbanding lurus dengan pertambahan kala ulang gempa. Hasil dari PSHA dibandingkan dengan Peta Bahaya dan Sumber Gempa Indonesia Tahun 2017 untuk lokasi tinjauan sebagai kontrol dari hasil analisis.

Seismic Hazard Maps

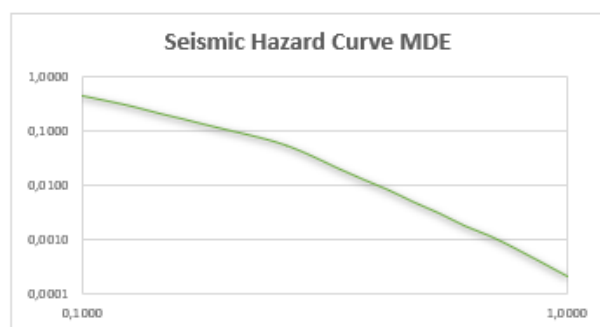
Seismic hazard curve adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara intensitas gempa dengan probabilitas terlampaui (*exceedance probability*) dari intensitas tersebut. Grafik ini biasanya digunakan dalam studi risiko gempa digunakan untuk memahami kemungkinan terjadinya gempa dengan intensitas tertentu dalam periode waktu yang ditentukan. Melalui kurva ini, kita dapat memperkirakan intensitas gempa yang memiliki

probabilitas tertentu untuk terlampaui, yang biasanya dinyatakan dalam persentase.



Gambar 7. *Seismic Hazard Curve Pada Kala Ulang 100 Tahun*

Nilai intensitas terendah yang mungkin terjadi adalah 0.1 g dengan probabilitas terlampaui sebesar 0.303 atau 30.30%. Nilai intensitas tertinggi 1 g dengan probabilitas terlampaui 0.0001 atau 0.01%.



Gambar 8. *Seismic Hazard Curve Pada Kala Ulang 1000 Tahun*

Nilai intensitas terendah yang mungkin terjadi adalah 0.1 g dengan probabilitas terlampaui sebesar 0.4400 atau 44%. Nilai intensitas tertinggi 1 g dengan probabilitas terlampaui 0.0002 atau 0.02%.

Hasil dari analisis *exceedance probability* menunjukkan bahwa seiring naiknya nilai intensitas (kekuatan) gempa maka akan diiringi dengan penurunan nilai dari *exceedance probability*. Hal ini menunjukkan dengan semakin besarnya nilai intensitas (kekuatan) gempa maka akan semakin kecil kemungkinan terjadinya gempa tersebut terlampaui. Kurva *exceedance probability* juga bisa digunakan untuk mengetahui nilai *exceedance probability* dari suatu intensitas dengan cara menarik garis keatas pada nilai intensitas yang ingin diketahui hingga bersentuhan dengan kurva kemudian ditarik ke nilai *exceedance probability*.

Validasi akurasi nilai PGA dilakukan dengan membandingkan hasil analisis PSHA dengan data dari Peta Bahaya Gempa Indonesia 2017. Ketiga nilai PGA dari hasil pemodelan PSHA pada periode ulang 100, 5000,

dan 10.000 tahun menunjukkan kesesuaian terhadap interval yang terdapat dalam peta gempa, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 3. Hal ini mengindikasikan bahwa metode dan parameter yang digunakan dalam analisis dapat menghasilkan estimasi PGA yang akurat dan layak digunakan dalam perencanaan seismik di lokasi tersebut.

Tabel 2 . *Rekapitulasi Hasil Analisis PGA Terhadap Nilai PGA Peta Gempa 2017*

Periode Ulang	PGA Batuan Dasar	Interval Hasil Peta Gempa 2017 untuk Kabupaten Semarang (g)	Keterangan
100	0.157	0.15-0.2	Masuk Interval
5000	0.501	0.5-0.6	Masuk Interval
10000	0.605	0.6-0.7	Masuk Interval

Berdasarkan Tabel 3 mengenai nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*) batuan dasar untuk Kabupaten Semarang dengan periode ulang 100, 5000, dan 10.000 tahun berada dalam interval yang sesuai dengan Peta Gempa Nasional 2017. Pada periode ulang 100 tahun, nilai PGA sebesar 0,157 g masuk dalam interval 0,15–0,2 g. Untuk periode ulang 5000 tahun, nilai PGA sebesar 0,501 g sesuai dengan interval 0,5–0,6 g. Sementara itu, pada periode ulang 10.000 tahun, nilai PGA sebesar 0,605 g berada dalam rentang 0,6–0,7 g. Dengan demikian, seluruh nilai PGA batuan dasar untuk Kabupaten Semarang telah sesuai dengan prediksi Peta Gempa 2017, sehingga data tersebut dapat dianggap akurat untuk analisis risiko seismik serta perencanaan mitigasi di wilayah tersebut.

Hasil Pemilihan *Ground Motion*

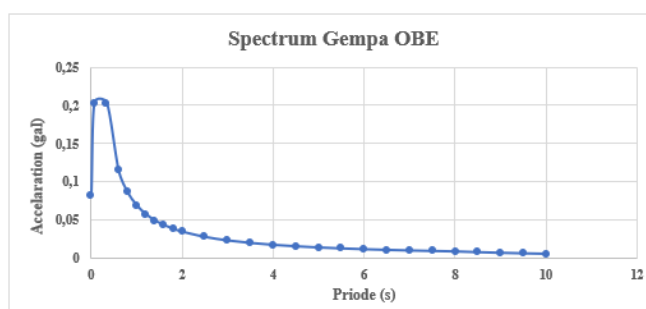
Akselerogram adalah rekaman grafik yang menunjukkan percepatan tanah akibat gempa bumi sebagai fungsi waktu [14]. Walaupun gempa di Indonesia, khususnya di Pulau Jawa, yang berasal dari mekanisme subduksi berbeda dengan gempa-gempa di Amerika Utara yang berasal dari mekanisme patahan (*fault*), tetapi untuk contoh pemakaian tetap digunakan rekaman gempa-gempa tersebut, karena rekaman akselerogram gempa di Indonesia masih sulit diperoleh. Penentuan akselerogram biasanya lebih ditekankan pada upaya untuk memperoleh rekaman-rekaman yang sesuai/sepadan dengan spektrum respons daripada terhadap parameter-parameter seismologinya [15].

SNI 1726-2012 telah menetapkan cara penentuan

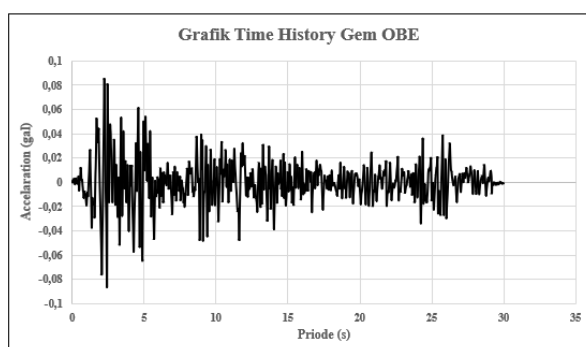
beban gempa yang berada di dalam wilayah Indonesia sebagai grafik *spectrum respons* percepatan [15]. Desain Data *ground motion* ini diperoleh dengan menggunakan fungsi *spectrum response* dan *time history* pada aplikasi SAP2000. Koefisien gempa OBE dan MDE dari hasil simulasi PSHA digunakan dalam membuat response spectrum (lihat **Gambar 9-Gambar 12**). *Function* yang digunakan adalah IBC2012 sesuai ketentuan SNI 1726-2012.

Tabel 3 . Nilai Parameter PSHA Yang Digunakan

Parameter	Gempa OBE	Gempa MDE
0,2 sec Spectral Acceleration, S_s	0.307	1.14
1 sec Spectral Acceleration, S_1	0.103	0.404



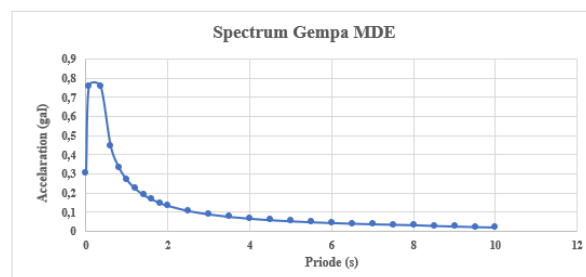
Gambar 9 . Respon Spektrum Gempa OBE



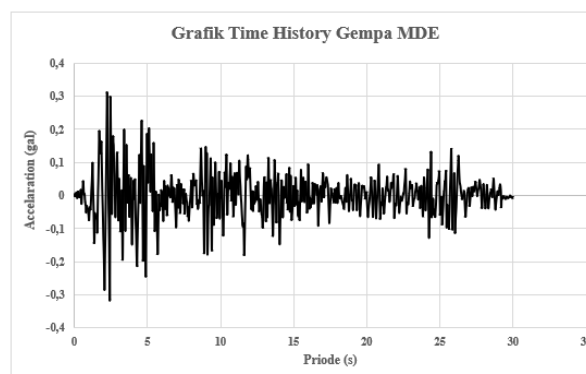
Gambar 10. Rekaman Akselerogram Gempa OBE, Yang Disesuaikan Dengan Respon Spektrum Desain Untuk Kabupaten Semarang, Jawa Tengah

Analisis Statik Lereng Bendungan

Hasil simulasi statis Bendungan Jragung STA 0+500 untuk kondisi tanpa gempa ditunjukkan oleh **Tabel 5**.



Gambar 11. Respon Spektrum Gempa MDE



Gambar 12. Rekaman Akselerogram Gempa OBE, Yang Disesuaikan Dengan Respon Spektrum Desain Untuk Kab. Semarang, Jawa Tengah

Tabel 4 . Hasil simulasi statis Bendungan Jragung STA 0+500 untuk kondisi tanpa gempa

Kondisi	FK Minimal	Faktor keamanan		Keterangan	
		Hulu	Hilir	Hulu	Hilir
Selesai masa konstruksi, air kosong dan tanpa gempa	1.3	2.147	2.402	AMAN	AMAN
Kondisi air steady state, muka air normal / Normal Water Level (NWL) +115 m tanpa gempa	1.5	2.117	2.307	AMAN	AMAN
Kondisi muka air banjir / Flood Water Level (FWL) +118 m tanpa gempa	1.3	2.151	2.385	AMAN	AMAN
Kondisi surut cepat dari muka air normal +115 m ke muka air minimum +93 m tanpa gempa	1.3	1.596	1.994	AMAN	AMAN

Tabel 5 . Hasil Simulasi Statis Bendungan Jragung STA 0+500 Untuk Kondisi Dengan Koefisien Gempa OBE

Kondisi	FK Minimal	y/h	Faktor keamanan		Keterangan	
			Hulu	Hilir	Hulu	Hilir
Selesai masa konstruksi, air kosong dan dengan beban gempa 50% gempa OBE	1.2	0.25	1.481	1.707	AMAN	AMAN
		0.50	1.586	1.818	AMAN	AMAN
		0.75	1.593	1.825	AMAN	AMAN
		1.00	1.633	1.867	AMAN	AMAN
Kondisi air steady state, muka air normal / Normal Water Level (NWL) +115 m dengan beban gempa 50% gempa OBE	1.2	0.25	1.17	1.706	TIDAK AMAN	AMAN
		0.50	1.289	1.757	AMAN	AMAN
		0.75	1.297	1.763	AMAN	AMAN
		1.00	1.344	1.807	AMAN	AMAN
Kondisi muka air banjir / Flood Water Level (FWL) +118 m dengan gempa OBE	1.2	0.25	1.175	1.696	TIDAK AMAN	AMAN
		0.50	1.295	1.807	AMAN	AMAN
		0.75	1.303	1.814	AMAN	AMAN
		1.00	1.352	1.855	AMAN	AMAN
Kondisi surut cepat dari muka air normal +115 m ke muka air minimum +93 m dengan gempa OBE	1.1	0.25	1.067	1.397	TIDAK AMAN	AMAN
		0.50	1.137	1.494	AMAN	AMAN
		0.75	1.142	1.501	AMAN	AMAN
		1.00	1.172	1.536	AMAN	AMAN

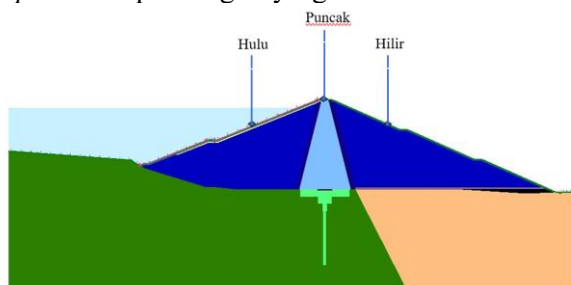
Hasil simulasi statis Bendungan Jragung STA 0+500 untuk kondisi dengan koefisien gempa OBE ditunjukkan oleh Tabel 6. Hasil simulasi statis Bendungan Jragung STA 0+500 untuk kondisi dengan koefisien gempa MDE ditunjukkan oleh Tabel 7.

Tabel 6. Hasil Simulasi Statis Bendungan Jragung STA 0+500 Untuk Kondisi Dengan Koefisien Gempa MDE

Kondisi	FK Minimal	y/h	Faktor keamanan		Keterangan	
			Hulu	Hilir	Hulu	Hilir
Selesai masa konstruksi, air kosong dan dengan beban gempa 50% gempa MDE	1	0.25	0.87	1.341	TIDAK AMAN	AMAN
		0.50	0.978	1.472	TIDAK AMAN	AMAN
		0.75	0.984	1.480	TIDAK AMAN	AMAN
		1.00	1.03	1.534	AMAN	AMAN
Kondisi air steady state, muka air normal / Normal Water Level (NWL) +115 m dengan beban gempa 50% gempa MDE	1	0.25	0.651	1.041	TIDAK AMAN	AMAN
		0.50	0.726	1.152	TIDAK AMAN	AMAN
		0.75	0.73	1.159	TIDAK AMAN	AMAN
		1.00	0.763	1.206	TIDAK AMAN	AMAN
Kondisi muka air banjir / Flood Water Level (FWL) +118 m dengan gempa MDE	1	0.25	0.649	1.061	TIDAK AMAN	AMAN
		0.50	0.725	1.175	TIDAK AMAN	AMAN
		0.75	0.73	1.182	TIDAK AMAN	AMAN
		1.00	0.763	1.230	TIDAK AMAN	AMAN
Kondisi surut cepat dari muka air normal +115 m ke muka air minimum +93 m dengan gempa MDE	1	0.25	0.644	1.032	TIDAK AMAN	AMAN
		0.50	0.711	1.141	TIDAK AMAN	AMAN
		0.75	0.714	1.148	TIDAK AMAN	AMAN
		1.00	0.744	1.195	TIDAK AMAN	AMAN

Analisis Dinamik Lereng Bendungan

Analisis dinamik dilakukan pada tiga titik yang berada pada bagian hulu, puncak dan hilir bendungan. Pemilihan bertujuan untuk mengetahui nilai *displacement* pada bagian yang ditentukan.



Gambar 13 . Titik Bendungan Yang Dijadikan Tinjauan Nilai Displacement



Gambar 14 . Displacement Maksimum Tubuh Bendungan STA 0+500

Hasil simulasi Dinamik Bendungan Jragung STA 0+500 ditunjukkan oleh Tabel 8 hingga Tabel 10.

Tabel 7 . Hasil Displacement Puncak Bendungan Jragung STA 0+500

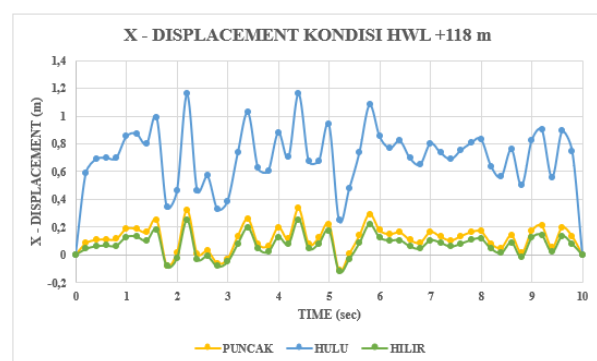
KONDISI	PUNCAK		KETERANGAN	Y - DISPLACEMENT m	KETERANGAN
	MAX DISPLACEMENT m	X - DISPLACEMENT m			
Kondisi setelah masa konstruksi	2.25	0.22	AMAN	0.031	AMAN
Kondisi Muka air normal +115 m	2.25	0.331	AMAN	0.054	AMAN
Kondisi Muka air banjir +118 m	2.25	0.333	AMAN	0.065	AMAN
Kondisi surut cepat dari muka air normal +115 m ke muka air minimum +93 m	2.25	0.311	AMAN	0.062	AMAN

Tabel 8 . Hasil Displacement Hulu Bendungan Jragung STA 0+500

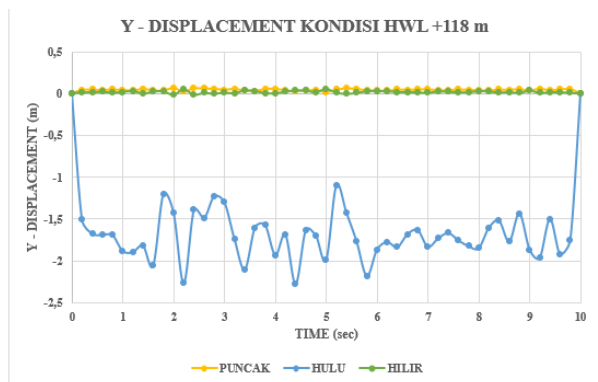
KONDISI	HULU		KETERANGAN	Y - DISPLACEMENT m	KETERANGAN
	MAX DISPLACEMENT m	X - DISPLACEMENT m			
Kondisi setelah masa konstruksi	2.25	0.502	AMAN	0.707	AMAN
Kondisi Muka air normal +115 m	2.25	1.178	AMAN	2.258	AMAN
Kondisi Muka air banjir +118 m	2.25	1.163	AMAN	2.273	TIDAK AMAN
Kondisi surut cepat dari muka air normal +115 m ke muka air minimum +93 m	2.25	1.081	AMAN	2.054	AMAN

Tabel 9 . Hasil Displacement Hilir Bendungan Jragung STA 0+500

KONDISI	HILIR		KETERANGAN	Y - DISPLACEMENT m	KETERANGAN
	MAX DISPLACEMENT m	X - DISPLACEMENT m			
Kondisi setelah masa konstruksi	2.25	0.193	AMAN	0.035	AMAN
Kondisi Muka air normal +115 m	2.25	0.270	AMAN	0.072	AMAN
Kondisi Muka air banjir +118 m	2.25	0.253	AMAN	0.049	AMAN
Kondisi surut cepat dari muka air normal +115 m ke muka air minimum +93 m	2.25	0.239	AMAN	0.049	AMAN



Gambar 15 . Grafik Displacement Horizontal STA 0+500 Terhadap Waktu Pada Titik Bendungan Yang Dijadikan tinjauan Pada Muka Air Banjir (Elv + 118 m)



Gambar 16 . Grafik Displacement Vertikal STA 0+500 Terhadap Waktu Pada Titik Bendungan Yang Dijadikan tinjauan Pada Muka Air Banjir (Elev + 118 m)

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis stabilitas Bendungan Jragung menggunakan metode statis dan dinamis, dapat disimpulkan bahwa bendungan ini menunjukkan stabilitas yang aman pada kondisi tanpa gempa dan gempa OBE, dengan nilai *safety factor* yang memenuhi standar pada semua STA. Namun, pada kondisi gempa MDE, nilai *safety factor* menunjukkan hasil yang tidak aman. Meskipun demikian, hasil analisis dinamis menunjukkan bahwa deformasi bendungan, yang diukur melalui *displacement*, tidak melebihi batas maksimal yang diizinkan (2,25 m), sesuai dengan Pedoman T-14-2004 A. Analisis dinamis pada berbagai kondisi muka air (kosong, normal, banjir, dan *rapid draw down*) menunjukkan *displacement* maksimum yang terjadi di hulu atau hilir pada berbagai periode waktu, dengan nilai-nilai *displacement* yang tetap berada dalam batas aman. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa stabilitas Bendungan Jragung terjaga dengan baik pada kondisi-kondisi yang diuji, meskipun terdapat beberapa kondisi dengan *displacement* yang cukup signifikan, yang tetap berada dalam toleransi deformasi yang diperkenankan. Sementara itu, dari hasil PSHA, diperoleh nilai PGA batuan dasar yang valid dan sesuai dengan Peta Gempa Nasional 2017, yang menunjukkan akurasi dan ketepatan metode PSHA dalam memperkirakan potensi bahaya gempa di lokasi studi. Hal ini memperkuat justifikasi bahwa metode PSHA dapat digunakan untuk mendukung penilaian risiko seismik dan desain infrastruktur bendungan di wilayah rawan gempa.

Saran

Saran Penelitian yang telah dilakukan memiliki beberapa penyederhanaan. Oleh karena itu saran yang dapat diberikan penulis untuk penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Dalam kajian lebih lanjut mengenai analisis *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA), disarankan agar diperhatikan dalam penentuan sumber gempa tidak terdefinisi. Dengan demikian, diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam meminimalkan ketidakpastian dan meningkatkan akurasi pemodelan bahaya seismik, yang sangat relevan untuk mitigasi risiko bencana.
2. Dalam kajian analisis *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) yang lebih mendalam, disarankan untuk mempertimbangkan penentuan sumber gempa berdasarkan data yang berasal dari wilayah laut dan darat. Hal ini akan berkaitan dengan nilai koefisien gempa yang didapat.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bachri. S. 2014. *Pengaruh Tektonik Regional Terhadap Pola Struktur dan Tektonik Pulau Jawa*. Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral, vol. 15, no. 4.
- [2] Robiana, R., Afif, H., Cipta, A., Omang, A., dan Solikhin, A. 2021. *Simplifikasi Pembagian Kelas Batuan Berdasarkan Nilai Periode Dominan: Studi Kasus Kota Semarang*. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, 15(1).
- [3] Koesuma, S., Fajrin, V., dan Sunardi, B. 2022. *Identifikasi Zona Bahaya Gempa Bumi Berdasarkan Percepatan Tanah Maksimum di Kota Semarang*. Indonesian Journal of Environment and Disaster, 1(2).
- [4] Supartoyo, Surono, dan Putranto, E. T. 2014. *Katalog Gempabumi Merusak di Indonesia Tahun 1612–2014*. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, 2014(57).
- [5] Koesuma, S., Fajrin, V., dan Sunardi, B. 2022. *Identifikasi Zona Bahaya Gempa Bumi Berdasarkan Percepatan Tanah Maksimum di Kota Semarang*. Indonesian Journal of Environment and Disaster (IJED), 1(2).
- [6] Ginting, R. A. et al. 2020. *Analisis Kerawanan Seismik di Permukaan Tanah untuk Mitigasi Gempa Bumi di Kabupaten Majalengka Menggunakan Metode PSHA*. Seminar Nasional Fisika (SNF).
- [7] Azmiyati, U. 2021. *Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum Akibat Gempabumi Di Wilayah Nusa Tenggara Dengan Metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)*. JISIP (Jurnal Ilmu Sosial dan Pendidikan), 5(1).
- [8] Pratama, I. P. D. 2020. *Pemetaan dan Analisis Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) Radius 500 KM dari Denpasar*. Jurnal Geografi Gea, 20(1).
- [9] Saputra, E., Makrup, L., Nugraheni, F., dan

- Pawirodikromo, W. 2020. *Analisis Percepatan Tanah Permukaan di Wilayah Riau dengan Metode PSHA*. Teknisia, 25(1).
- [10] Baker, J. W. 2008. *An Introduction to Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)*. Baker Research Group.
- [11] Valensia, W., dan Agustian, Y. 2024. *Analisis Stabilitas Lereng Bendungan I Tujuh Bukit Tumpang Pitu Banyuwangi*.
- [12] Wiemer, S. 2001. *A Software Package to Analyze Seismicity: ZMAP*. Seismological Research Letters, 72(3).
- [13] Stepp, J. C. 1973. *Analysis of Completeness of the Earthquake Sample in the Puget Sound Area*. Contributions in Seismic Zoning, (1974).
- [14] Khansefid, A., Bakhshi, A., dan Ansari, A. 2019. *Development of Declustered Processed Earthquake Accelerogram Database for the Iranian Plateau: Including Near-Field Record Categorization*. Journal of Seismology, 23(4).
- [15] Al, Y. et al. 2019. *SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019 di Indonesia*. Jurnal.Ustjogja.Ac.Id.