

## Identifikasi Kerentanan Dinding Bendungan dengan Menggunakan Metode Mikroseismik (Studi Kasus Bendungan Jatibarang, Semarang )

Koen Dian Pancawati✉, Supriyadi, Khumaedi

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia  
Gedung D7 Lt. 2, Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang 50229

### Info Artikel

Diterima April 2014  
Disetujui Mei 2014  
Dipublikasikan Juni 2014  
**\*ADA TANGGALNYA**

#### Keywords:

Kerentanan, Bendungan,  
Mikroseismik, HVSR,  
Ground Shear Strain

### Abstrak

Peristiwa jebolnya waduk Situ Gintung pada tahun 2009 menunjukkan bahwa kurangnya kajian mengenai kerentanan dinding bendungan. Salah satu metode yang mampu mengestimasi kerentanan dinding bendungan untuk mitigasi bencana adalah metode mikroseismik. Penelitian ini dilakukan di Bendungan Jatibarang dengan menggunakan metode mikroseismik teknik HVSR dan durasi perekaman selama 30 menit. Data lapangan tersebut diolah menggunakan software Geopsy dan dianalisis. Berdasarkan hasil pengolahan data didapatkan bahwa pada B1 dan A3 nilai frekuensi natural dan percepatan getaran tanah maksimum bernilai tinggi, sedangkan nilai indeks kerentanan seismik, ketebalan lapisan lapuk dan ground shear strain bernilai rendah. Pada titik B4 dan A6 nilai frekuensi natural dan ground shear strain bernilai rendah, sedangkan nilai percepatan getaran tanah maksimum, indeks kerentanan seismik dan ketebalan lapisan lapuk bernilai sedang. Pada titik B2, B3, A4 dan A5 nilai frekuensi natural dan percepatan getaran tanah maksimum bernilai tinggi, sedangkan nilai indeks kerentanan seismik, ketebalan lapisan lapuk dan ground shear strain bernilai tinggi. Jadi dapat disimpulkan bahwa pada titik B1 dan A3 memiliki resiko tingkat kerawanan yang rendah pada titik B4 dan A6 memiliki resiko tingkat kerawanan yang sedang namun dimungkinkan adanya rekahan atau penurunan tanah, serta pada titik B2, B3, A4 dan A5 memiliki resiko tingkat kerawanan yang tinggi.

### Abstract

Events breakdown reservoir Situ Gintung in 2009 showed that a lack of assessment of the vulnerability of the dam wall. One such method is able to estimate the vulnerability of the dam wall for hazard mitigations is microseismic method. This research was conducted in Dam Jatibarang using microseismic technique HVSR and recording duration for 30 minutes. The field data is processed and analyzed using software Geopsy. Based on the results of data processing was found that the B1 and A3 the value of natural frequency and maximum ground vibration acceleration of high value, while the value of the seismic vulnerability index, the thickness of the layer of weathered and ground shear strain of low value. At the point B4 and A6 natural frequency values and ground shear strain of low value, while the value of maximum ground acceleration vibration, seismic vulnerability index and a layer thickness of weathered worth being. At point B2, B3, A4 and A5 values of natural frequency and maximum ground vibration acceleration of high value, while the value of the seismic vulnerability index, weathered layer thickness and shear strain of high-value ground. So we can conclude that at the point B1 and A3 have a risk level of vulnerability that is low on points B4 and A6 had risk levels of vulnerability that are yet possible presence of cracks or subsidence, as well as at the point B2, B3, A4 and A5 have a risk level of vulnerability to high.

## PENDAHULUAN

Peristiwa jebolnya waduk Situ Gintung pada tahun 2009 ([www.nasional.kompas.com](http://www.nasional.kompas.com)) menunjukkan bahwa kurangnya kajian mengenai kerentanan dinding bendungan. Hal ini dikarenakan tidak adanya informasi tentang estimasi kerentanan dinding bendungan yang mampu dijadikan acuan untuk meminimalisir jatuhnya korban jiwa pada saat dinding bendungan tidak mampu lagi menahan volume air yang banyak.

Salah satu metode yang mampu mengestimasi kerentanan dinding bendungan adalah metode mikroseismik. Menurut Susilo dan Wiyono (2012), Mikroseismik adalah getaran tanah yang disebabkan oleh faktor alam maupun buatan seperti angin, ombak atau aktivitas kendaraan sehingga menyebabkan kondisi geologi pada permukaan. Mikroseismik merupakan salah satu metode geofisika pasif. Metode mikroseismik pada dasarnya merekam getaran tanah alami yang merefleksikan kondisi geologi suatu daerah. Metode HVSR didasarkan pada perbandingan spektral amplitudo komponen horizontal terhadap komponen vertical (Nakamura, 1989), sehingga dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$S_M(w) = [(H_{SN}(w)^2 + H_{WE}(w)^2)^{\frac{1}{2}}] / V_s$$

Dengan  $H_{SN}(w)$  = spektrum mikroseismik komponen horizontal utara-selatan,  $H_{WE}(w)$  = spektrum mikroseismik komponen barat-timur,  $V_s$  = spektrum mikroseismik komponen vertikal di permukaan. Setelah itu, menghitung nilai indeks kerentanan seismik dengan persamaan berikut:

$$K_g = \frac{(A_0)^2}{f_0}$$

dengan  $K_g$  = indeks kerentanan tanah,  $A_0$  = amplitudo dan  $f_0$  = frekuensi natural. Nilai  $K_g$  yang tinggi umumnya ditemukan pada tanah dengan litologi batuan sedimen yang lunak, Nilai  $K_g$  yang tinggi ini menggambarkan bahwa daerah tersebut rentan terhadap gempa dan jika terjadi gempa dapat mengalami guncangan

yang kuat (Nakamura, 2000). Kemudian menghitung nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA), dengan menggunakan persamaan berikut:

$$PGA = B_1 10^{B_2 M} (\Delta + 10)^{B_3}$$

Dengan  $B_1 = 34,1$ ,  $B_2 = 0,308$ ,  $B_3 = -0,925$ , dan  $M$  = magnitude gempa. Dalam penentuan indeks kerentanan seismik, perlu diperhatikan pergeseran regangan pada permukaan tanah. Besarnya pergeseran regangan tanah atau *Ground Shear Strain* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\gamma = \frac{A_0}{H} d$$

dengan  $H$  = ketebalan lapisan lapuk (m),  $d$  = perpindahan gelombang seismik di batuan dasar (m) dan  $A_0$  = faktor amplifikasi.

## METODE EKSPERIMEN

Penelitian ini dilakukan di Bendungan Jatibarang, Kec. Gunungpati, Kab. Semarang dengan jumlah titik pengukuran ialah 8 titik (Gambar 1) menggunakan seismometer vibralog tipe MAE dengan 3 komponen. Data yang direkam pada seismometer berdurasi 30 menit, kemudian diolah dengan menggunakan software Geopsy dan dimodelkan menggunakan surfer.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

**Tabel 1.** Tabel Penelitian Lapangan

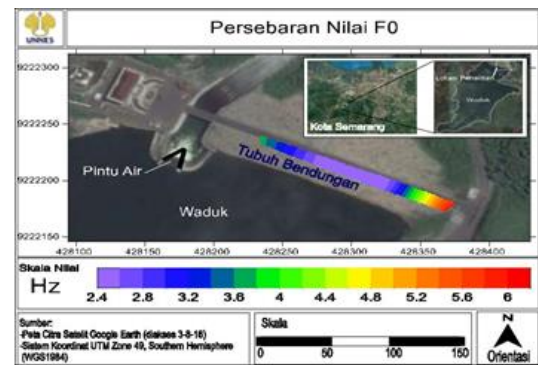
Titik akuisisi	Longitude	Latitude	Elevasi	Keterangan
A03	110.3514	-7.036433	169	Jam 12.35 motor Jam 12.37 mobil Jam 12.41 motor Jam 12.43 motor Jam 12.44 motor Jam 12.46 motor
A04	110.351	-7.03625	169	Jam 10.49 motor
A05	110.3506	-7.03607	169	Jam 15.05 orang Jam 15.16 motor Jam 15.21 motor Jam 15.22 motor Jam 15.28 motor
A06	110.3502	-7.03588	169	Jam 14.31 orang Jam 14.33 motor Jam 14.45 mobil Jam 14.48 orang Jam 14.49 motor Jam 14.50 orang Jam 14.55 motor Jam 14.56 motor
B01	110.3515	-7.03635	169	Jam 11.58 motor Jam 12.15 motor Jam 12.17 motor
B02	110.3511	-7.03617	169	Jam 11.35 hewan Jam 11.38 motor Jam 11.44 motor
B03	110.3506	-7.03598	169	Jam 10.10 motor Jam 10.27 motor
B04	110.3502	-7.0358	169	Jam 14.00 motor Jam 14.05 motor Jam 14.10 motor Jam 14.19 motor

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai frekuensi dominan tanah yang didapatkan kemudian disubstitusikan kedalam persamaan sehingga didapatkan nilai ketebalan lapisan lapuk (H), kemudian menentukan nilai  $K_g$ , PGA, dan Ground Shear Strain. Dari masing-masing nilai tersebut dapat dianalisis karakteristik tanah lingkungan daerah penelitian. Karakteristik suatu daerah memiliki tingkat kerentanan yang tinggi atau rendah dilihat dari beberapa parameter-parameter dibawah ini, yaitu:

### Frekuensi Dominan Tanah ( $f_0$ )

Nilai frekuensi dominan tanah di setiap titik pengukuran dapat dilihat dalam peta persebaran nilai frekuensi dominan tanah seperti pada **Gambar 2**.

**Gambar 2.** Peta Persebaran Frekuensi Dominan Tanah

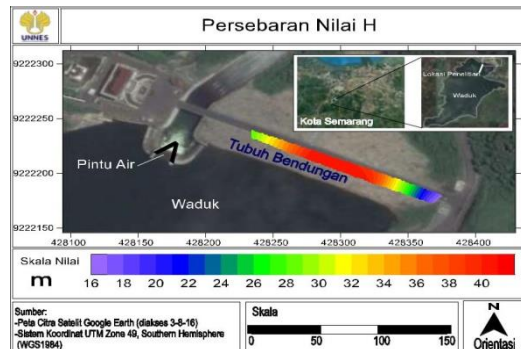
**Gambar 2.** menunjukkan nilai frekuensi dominan tanah di tempat penelitian sangat beragam dari nilai terkecil sampai dengan nilai terbesar. Secara umum pola persebaran frekuensi dominan tanah semakin mengecil dari arah timur ke arah barat daerah penelitian. Pada **Gambar 2.** terlihat bahwa titik B2, A4, B3 dan A5 memiliki nilai frekuensi dominan tanah yang rendah. Hal ini menunjukkan bahwa nilai indeks kerentanan seismik, ketebalan lapisan lapuk dan *ground shear strain* berada dalam kategori tinggi, dan nilai percepatan getaran tanah maksimum yang rendah.

Hal ini menunjukkan bahwa nilai indeks kerentanan seismik, ketebalan lapisan lapuk dan *ground shear strain* berada dalam kategori tinggi, dan nilai percepatan getaran tanah maksimum yang rendah. Untuk nilai amplifikasi pada setiap titik tidak dapat dikategorikan tinggi maupun rendah, dikarenakan nilai amplifikasi bergantung pada nilai kontras impedansi antara nilai kecepatan pada lapisan batuan dasar (*bedrock*) yang disebut sebagai  $V_b$  dan nilai kecepatan pada lapisan batuan lunak yang disebut sebagai  $V_{s30}$ .

$V_{s30}$  didapatkan dari data USGS, sehingga nilai  $V_{s30}$  dianggap konstan. Selain itu, nilai faktor amplifikasi dipengaruhi oleh ketebalan lapisan lapuk, jika nilai faktor amplifikasi tinggi maka ketebalan lapisan lapuk tinggi (tebal). Nilai frekuensi dominan tanah diakibatkan oleh sifat batuan itu sendiri. Nilai frekuensi yang rendah mengakibatkan tingginya nilai kerentanan seismik dan *ground shear strain*, sehingga pada daerah tersebut struktur lapisannya mudah terdeformasi. Jadi untuk

daerah tersebut memiliki tingkat kerawanan bahaya seismik yang tinggi sehingga daerah tersebut tidak aman untuk didirikan bangunan (Naqiyyun, 2015).

#### Nilai Ketebalan Lapisan Lapuk (H)



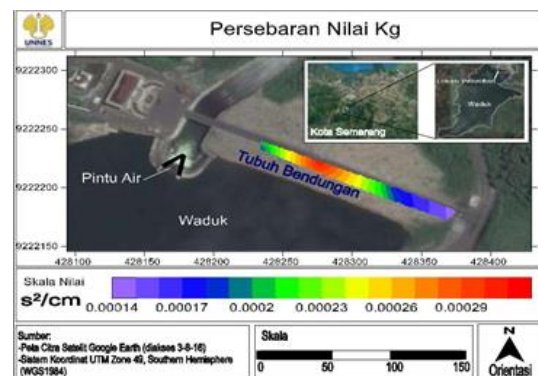
**Gambar 3.** Peta Persebaran Ketebalan Lapisan Lapuk

Nilai ketebalan lapisan lapuk di setiap titik pengukuran dapat dilihat dalam peta persebaran nilai ketebalan lapisan lapuk seperti pada **Gambar 3**. Berkebalikan dengan pola yang terbentuk dari nilai frekuensi dominan tanah ( $f_0$ ) yang dapat dilihat pada gambar 3, dengan persebaran ketebalan lapisan lapuk terlihat semakin menebal dari arah timur ke barat pada daerah penelitian. Semakin besar nilai ketebalan lapisan lapuk maka titik pengukuran berada pada lapisan sedimen lunak dengan ketebalan lebih dari 10 meter. Begitu pula sebaliknya, semakin rendah nilai ketebalan lapisan lapuk suatu titik pengukuran maka titik pengukuran berada pada wilayah yang memiliki ketebalan lapisan lapuk kurang dari 10 meter (Herawati, 2014).

#### Nilai Indeks Kerentanan Seismik ( $K_g$ ).

Semakin besar nilai indeks kerentanan seismik maka daerah pengukuran tersebut memiliki resiko yang tinggi terhadap kerusakan akibat gempa bumi. Begitu pula sebaliknya, semakin rendah nilai indeks kerentanan seismik maka daerah pengukuran tersebut memiliki resiko yang rendah terhadap kerusakan akibat gempa bumi. Pada **Gambar 4**, terlihat bahwa titik B4 dan A6 memiliki nilai frekuensi dominan tanah yang sedang. Hal ini menunjukkan bahwa nilai indeks kerentanan seismik, ketebalan lapisan

lapuk, percepatan getaran tanah maksimum dan ground shear strain berada dalam kategori sedang. Untuk nilai amplifikasi pada setiap titik tidak dapat dikategorikan tinggi maupun rendah, dikarenakan nilai amplifikasi bergantung pada nilai kontras impedansi antara nilai kecepatan pada lapisan batuan dasar (*bedrock*) yang disebut sebagai  $V_b$  dan nilai kecepatan pada lapisan batuan lunak yang disebut sebagai  $V_{s30}$ .  $V_{s30}$  didapatkan dari data USGS, sehingga nilai  $V_{s30}$  dianggap konstan.



**Gambar 4.** Peta Persebaran Indeks Kerentanan Seismik

Selain itu, nilai faktor amplifikasi dipengaruhi oleh ketebalan lapisan lapuk, jika nilai faktor amplifikasi tinggi maka ketebalan lapisan lapuk tinggi (tebal). Nilai frekuensi dominan tanah diakibatkan oleh sifat batuan itu sendiri. Namun dilihat dari nilai frekuensi dominan tanahnya tergolong kedalam kategori tinggi, sehingga pada titik ini terdapat perbedaan pada nilai amplifikasinya. Faktor amplifikasi jika dikaitkan dengan nilai kecepatan pada basement ( $V_b$ ) dan nilai kecepatan pada lapisan soil ( $V_s$ ) berdasarkan asumsi bahwa nilai  $V_s$  adalah konstan yang dikarenakan ruang lingkup penelitian yang kecil. Oleh karena itu, jika nilai  $V_b$  tinggi maka nilai Faktor amplifikasi ( $A_0$ ) juga tinggi dan kita asumsikan pula bahwa densitas batuan dasar (*bedrock*) lebih besar daripada urugan. Sehingga pada saat mencapai permukaan beton diasumsikan sebagai batuan dasar (*bedrock*).

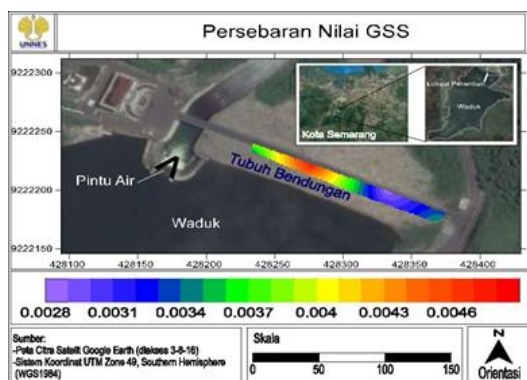
Nilai frekuensi yang sedang mengakibatkan sedang pula nilai kerentanan seismik dan ground shear strain, sehingga pada daerah tersebut struktur lapisannya mudah



terdeformasi. Jadi untuk daerah tersebut memiliki tingkat kerawanan bahaya seismik yang sedang namun dimungkinkan adanya rekahan dan penurunan tanah sehingga daerah tersebut perlu dipantau secara berkelanjutan.

#### Nilai Ground Shear Strain (GSS)

Pada **Gambar 5**, terlihat bahwa daerah yang memiliki nilai ground shear strain yang besar di bagian tengah pada titik pengukuran A5 dan B3 yang ditandai dengan warna merah. Sedangkan pada titik pengukuran A3, A4, A6, B1 dan B4 nilai ground shear strain termasuk dalam kriteria sedang ditandai dengan warna kuning sampai kehijauan, dan untuk nilai ground shear strain kriteria rendah ditandai dengan warna biru sampai kehijauan pada titik pengukuran B2.



**Gambar 5.** Peta Persebaran Ground Shear Strain

Semakin besar nilai ground shear strain maka akan menyebabkan lapisan tanah mudah mengalami deformasi, dan apabila terjadi gempa bumi maka akan mengakibatkan lapisan tanah mengalami longsoran atau likuifaksi (Herawati, 2014). Sedangkan nilai ground shear strain yang kecil menunjukkan sifat lapisan tanah yang semakin kokoh dan sulit mengalami deformasi sehingga apabila terjadi gempa bumi tidak mengakibatkan longsoran dan likuifaksi hanya merasakan gelombang getaran gempa bumi. Dengan kata lain, semakin besar nilai ground shear strain maka semakin besar pula tingkat kerentanan suatu daerah. Pada gambar 5 terlihat bahwa titik B1 dan A3 memiliki nilai frekuensi dominan tanah yang tinggi.

Hal ini menunjukkan bahwa nilai indeks kerentanan seismik, nilai ketebalan lapisan lapuk dan nilai ground shear strain berada dalam kategori rendah, serta nilai percepatan getaran tanah maksimum yang tinggi. Dikarenakan nilai amplifikasi bergantung pada nilai kontras impedansi antara nilai kecepatan pada lapisan batuan dasar (*bedrock*) yang disebut sebagai  $V_b$  dan nilai kecepatan pada lapisan batuan lunak yang disebut sebagai  $V_{s30}$ .

$V_{s30}$  didapatkan dari data USGS, sehingga nilai  $V_{s30}$  dianggap konstan. Selain itu, nilai faktor amplifikasi dipengaruhi oleh ketebalan lapisan lapuk, jika nilai faktor amplifikasi rendah maka ketebalan lapisan lapuk rendah (tipis). Nilai frekuensi dominan tanah diakibatkan oleh sifat batuan itu sendiri. Nilai frekuensi yang rendah mengakibatkan tingginya nilai kerentanan seismik dan ground shear strain, sehingga pada daerah tersebut struktur lapisannya tidak mudah terdeformasi. Jadi untuk daerah tersebut memiliki tingkat kerawanan bahaya seismik yang rendah sehingga daerah tersebut aman untuk didirikan bangunan.

#### SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data rekaman mikroseismik, daerah asdam bendungan Jatibarang pada titik B2, B3, A4 dan A5 memiliki nilai  $F_0$  dan PGA yang rendah serta nilai  $K_g$ ,  $H$ , GSS yang tinggi, sehingga memiliki resiko tingkat kerawanan yang tinggi. Pada titik B4 dan A6 memiliki nilai  $F_0$ ,  $H$ , PGA,  $K_g$  dan GSS yang sedang, sehingga memiliki resiko tingkat kerawanan yang sedang namun dimungkinkan pada titik tersebut terdapat rekahan atau penurunan tanah. Pada titik B1 dan A3 memiliki nilai  $F_0$  dan PGA yang tinggi serta nilai  $K_g$ ,  $H$ , GSS yang rendah, sehingga memiliki resiko tingkat kerawanan yang rendah dan aman untuk didirikan bangunan.

#### DAFTAR PUSTAKA

Herawati. 2014. *Mikrozonasi Multidisaster Daerah Sekitar Waduk Sermo Berbasis Analisis Keputusan Multikriteria Simple Additive*

*Weight (SAW) Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga

Naqiyyun, M. D. 2015. *Analisis Data Mikroseismik Daerah Calon Tapak PLTN di Kawasan Muria Untuk Kelayakan dan Keselamatan Rencana Pusat Listrik Reaktor Daya*. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.

Nakamura, Y. 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*, 30(1): 25-33.

Nakamura, Y. 2000. Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and it's Applications. *Prosiding<sup>12th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*. New Zealand: Auckland.

Susilo, A. dan S. A. Wiyono. 2012. Frequency Analysis and Seismic Vulnerability Index by Using Nakamura Methods at a New Artery Way in Porong, Sidoarjo, Indonesia. *International Journal of Applied Physics and Mathematics*, 2(4): 227-230.

Sonora. 2009. Tanggul Air Jebol Situ Gintung Terendam. Tersedia di <http://www.nasional.kompas.com/read/2009/03/27/06591210/tanggul.air.jebol.situ.gintung.terendam> [diakses 05-04-2016].