



**ANALISIS DATA MIKROSEISMIK UNTUK PENENTUAN INDEKS
KERENTANAN BANGUNAN
(STUDI KASUS DI WADUK KEDUNG OMBO KECAMATAN GEYER,
KABUPATEN GROBOGAN)**

Skripsi
disusun sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika

Oleh:

Nunung Putri Anggraini

4211414010

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2018**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi dengan judul “Analisis Data Mikroseismik untuk Penentuan Indeks Kerentanan Bangunan (Studi Kasus di Waduk Kedung Ombo Kecamatan Geyer, Kabupaten Grobogan)” telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke panitia sidang ujian skripsi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.

Hari : Rabu

Tanggal : 1 Juli 2018

Semarang, 1 Juli 2018

Dosen Pembimbing I



Dr. Khumaedi, M.Si.

NIP 196306101989011002

Dosen Pembimbing II



Drs. Ngurah Made D. P., M.Si., Ph.D.

NIP 196702171992031002

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi ini bebas plagiat, dan apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.

Semarang, 11 Juli 2018



Nunung Putri Anggraini

4211414010

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Analisis Data Mikroseismik untuk Penentuan Indeks Kerentanan Bangunan
(Studi Kasus di Waduk Kedung Ombo Kecamatan Geyer, Kabupaten
Grobogan)

disusun oleh

Nunung Putri Anggraini

4211414010

telah dipertahankan dihadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada
tanggal 11 Juli 2018



Panitia
Ketua
Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si., Akt.
NIP 196412231988031001

Sekretaris

Dr. Suharto Linuwih, M.Si.
NIP 196807141996031005

Ketua Penguji

Dr. Siti Wahyuni, S.Pd., M.Sc.
NIP 198204072005012001

Anggota Penguji/
Dosen Pembimbing I

Dr. Khumaedi, M.Si.
NIP 196306101989011002

Anggota Penguji/
Dosen Pembimbing II

Drs. Ngurah Made D. P., M.Si., Ph.D.
NIP 196702171992031002

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto :

- Sehat bersahabat dengan kesenangan hati, sedangkan sakit bersahabat dengan kesusahan hati. Jadi, berfokuslah pada nikmatnya sehat.
- Selalu berusaha dan tetap semangat.
- Berhentilah mengkhawatirkan masa depan, syukurilah hari ini, dan lakukan yang terbaik.

Persembahan:

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Allah SWT yang menciptakan dunia ini.
2. Ibunda Purwati Ningrum dan Ayahanda Sumijan serta kakak tersayang Elma Rusiani.
3. Segenap sahabat-sahabat prodi FISIKA
4. Segenap teman-teman jurusan FISIKA angkatan 2014.
5. Almamater tercinta Universitas Negeri Semarang

PRAKATA

Assalamualaikum Wr.Wb.

Syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mendapat kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan skripsi ini.

Keberhasilan penulis menyusun skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, sehingga dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Ketua Jurusan Fisika yang selalu memberikan dorongan semangat dan strategi untuk menyelesaikan penulisan skripsi ini.
3. Dr. Khumaedi, M.Si. dan Drs. Ngurah Made Darma Putra, M.Si., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang selalu sabar membimbing, mengajari, dan mengarahkan penulis.
4. Ayahku Sumijan dan Ibundaku Purwati Ningrum serta Kakakku Elma Rusiani yang selalu mendo'akan dan memberikan motivasi untuk menyelesaikan skripsi ini.
5. Semua teman-teman mahasiswa Fisika angkatan 2014 yang selalu menemani dan memberikan semangat untuk menyelesaikan skripsi.
6. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu atas bantuan yang telah diberikan dalam penyusunan skripsi ini.

Semoga Allah SWT memberikan imbalan dan melimpahkan barokah-Nya atas segala bantuan dalam penyusunan skripsi ini dan semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis serta para pembaca.

Wassalamualaikum Wr. Wb

Semarang, 11 Juli 2018

Nunung Putri Anggraini

4211414010

ABSTRAK

Anggraini, N, P. 2018. *Analisis Data Mikroseismik untuk Penentuan Indeks Kerentanan Bangunan (Studi Kasus di Waduk Kedung Ombo Kecamatan Geyer, Kabupaten Grobogan)*. Skripsi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Dosen Pembimbing: Dr. Khumaedi, M.Si., Drs. Ngurah Made Darma Putra, M.Si., Ph.D.

Kata kunci: Waduk, Mikroseismik, HVSr.

Waduk Kedung Ombo (WKO) terletak di Kecamatan Geyer, Kabupaten Grobogan. WKO diresmikan penggunaannya pada tahun 1989, dengan usia yang cukup tua maka waduk rawan akan kerusakan. Kerusakan dinding waduk dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya erosi, keretakan dinding waduk dengan lebar lebih dari $\frac{1}{4}$ inchi, longsor, peluapan, kekuatan bangunan, usia bangunan, dan gempa bumi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui estimasi distribusi indeks kerentanan seismik dinding Waduk Kedung Ombo menggunakan metode mikroseismik dengan teknik HVSr. Jumlah data mikroseismik yang diambil yaitu 22 titik yakni 14 titik pada tanggul atas dan 8 titik pada tanggul bagian bawah. Hasil yang diperoleh yaitu pada titik wko3, wko4, wko5, wko6, wko8, wko16, wko17, wko18, wko20 dan wko21 memiliki nilai *Ground Shear Strain* antara 7×10^{-4} - $0,7 \times 10^{-3}$ artinya daerah tersebut memiliki tingkat kerawanan bahaya seismik yang rendah sehingga dapat dikatakan tanggul bendungan di daerah tersebut masih kokoh. Pada titik wko1, wko2, wko7, wko9, dan wko19 memiliki nilai *Ground Shear Strain* antara 3×10^{-2} - 4×10^{-3} artinya daerah tersebut memiliki tingkat kerawanan bahaya seismik yang sedang namun dimungkinkan adanya rekahan sehingga perlu dipantau secara berkelanjutan. Pada titik wko0, wko10, wko11, wko12, wko13, wko14, dan wko15 memiliki nilai *Ground Shear Strain* antara $0,6 \times 10^{-2}$ - $1,8 \times 10^{-2}$ artinya daerah tersebut memiliki tingkat kerawanan bahaya seismik yang tinggi dan dapat dikatakan sangat rentan terdeformasi.

ABSTRACT

Anggraini, N, P. 2018. *Analysis of Microseismic Data for Building Vulnerability Index Determination (Case Study in Waduk Kedung Ombo Geyer Sub-district, Grobogan District)*. Final Project. Physics Department, Mathematics and Science Faculty, Universitas Negeri Semarang. Supervisor: Dr. Khumaedi, M.Si., Drs. Ngurah Made Darma Putra, M.Si., Ph.D.

Keywords: Dam, Microseismic, HVSR.

Waduk Kedung Ombo (WKO) is located at Geyer Sub-district, Grobogan District. WKO is inaugurated in 1989. Because of its old age, currently, the dam has been prone to damage. The damage of dam wall can be caused by several factors including erosion, crack of the dam wall with width more than $\frac{1}{4}$ inch, slide, overtopping, building strength, age of building, and earthquake. This study aims to determine index distribution estimation of seismic vulnerability at Waduk Kedung Ombo using microseismic method with HVSR technique. The number of microseismic data taken in this study are 22 points, that are 14 points on the upper embankment and 8 points on the lower embankment. The results obtained are at wko3, wko4, wko5, wko6, wko8, wko16, wko17, wko18, wko20 dan wko21 points have Ground Shear Strain values between 7×10^{-4} - $0,7 \times 10^{-3}$, so the area has a low level of seismic hazard. It can be said, dam embankment in the area is still strong. At wko1, wko2, wko7, wko9, dan wko19 points have Ground Shear Strain values between 3×10^{-3} - 4×10^{-3} , so the area has a moderate degree of seismic hazard susceptibility but there is a possibility of fracture. So, the area needs to be monitored continuously. At wko0, wko10, wko11, wko12, wko13, wko14, dan wko15 points have Ground Shear Strain values between $0,6 \times 10^{-2}$ - $1,8 \times 10^{-2}$. So, the area has a high degree of seismic hazard vulnerability and can be said to be highly vulnerable to deformation.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PERNYATAAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
1.6 Penegasan Istilah.....	6
1.7 Sistematika Penulisan Skripsi	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Geologi Daerah Penelitian	8
2.2 Waduk	9
2.2.1 Waduk Urugan	11
2.3.1 Waduk Beton.....	12
2.3 Gempa Bumi	12
2.3.1 Parameter Sumber Gempa Bumi.....	13
2.4 Gelombang Seismik	13
2.4.1 Gelombang Badan.....	14
2.4.2 Gelombang Permukaan	16

2. 5	Mikroseismik	16
2.5.1	Mikroseismik Pada Tanah	16
2.5.2	HVSR	17
2. 6	Amplifikasi.....	18
2. 7	Analisis HVSR	21
2.7.1	Analisis Frekuensi Dominan	22
2.7.1	Analisis Periode Dominan	24
2. 8	Indeks Kerentanan Seismik.....	25
2. 9	Percepatan Tanah Maksimum.....	27
BAB 3 METODE PENELITIAN		
3. 1	Tempat Penelitian	28
3. 2	Peralatan.....	29
3. 3	Prosedur Pengukuran	30
3. 4	Diagram Alir Penelitian	30
3.4.1	Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian	30
3.4.2	Pengambilan data di Lapangan	32
3. 5	Pengolahan Data	34
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		
4. 1	Hasil Penelitian dan Analisis Data Mikroseismik	35
4.1.1	Frekuensi Dominan Tanah (f_0)	36
4.1.2	Faktor Amplifikasi (A_0)	37
4.1.3	Indeks Kerentanan Seismik (K_g)	38
4.1.4	Percepatan Tanah Maksimum (PGA).....	40
4.1.5	<i>Ground Shear Strain</i> (γ)	41
4. 2	Analisis Data Berdasarkan Nilai v_{s30}	44
4. 3	Pembahasan	45
BAB 5 PENUTUP		
3. 1	Simpulan	50
3. 2	Saran	51
DAFTAR PUSTAKA		52

LAMPIRAN-LAMPIRAN	57
LAMPIRAN 1	57
LAMPIRAN 2	61
LAMPIRAN 3	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2. 1 Peta Geologi Waduk Kedung Ombo	9
2. 2 Gerakan partikel gelombang P.....	15
2. 3 Gerakan partikel gelombang S.....	15
2. 4 Deskripsi komputasi metode HVSR.....	18
2. 5 Konsep dasar amplifikasi gelombang seismik.....	19
2. 6 Kurva HVSR dimana sumbu y menunjukkan nilai amplifikasi dan sumbu x menunjukkan nilai frekuensi dominan.....	22
2. 7 Pergeseran dari permukaan tanah	25
3. 1 Peta Lokasi Penelitian.....	28
3. 2 Gambar 3.2. Diagram alir pelaksanaan penelitian.....	31
4. 1 Kurva H/V pada titik wko19.....	35
4. 2 Peta Persebaran Nilai f_0	36
4. 3 Peta Persebaran Nilai A_0	37
4. 4 Peta Persebaran Nilai K_g	38
4. 5 Peta Persebaran Nilai K_g pada Tanggul Bagian Tengah	39
4. 6 Peta Persebaran Nilai PGA.....	40
4. 7 Peta Persebaran Nilai GSS	42
4. 8 Peta Persebaran Nilai GSS pada Tanggul Bagian Tengah	43
4. 9 Sayatan Lintasan 1 (Tanggul Atas)	44
4. 10 Sayatan Lintasan 1 (Tanggul Atas)	44
4. 11 Gabungan Sayatan 2D pada Lintasan 1 dan 2	44
4. 12 Gaya-Gaya pada Bendungan	46

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2. 1 Laju Sedimentasi WKO Tahun 1989 s/d 2012	10
2. 2 Tabel Masa Pakai Bagian Struktural Bangunan	11
2. 3 Klasifikasi Tanah sesuai dengan <i>Eurocode</i>	20
2. 4 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan Mikroseismik Oleh Kanai	23
2. 5 Klasifikasi Tanah Kanai – Omote – Nakajima	24
2. 6 Nilai regangan sifat dinamis tanah	26
3. 1 Pengambilan data di lapangan	32

DAFTAR SIMBOL

v_p = cepat rambat gelombang P (m/s)

v_s = cepat rambat gelombang S (m/s)

λ = konstanta Lamé (N/m^2)

μ = rigiditas (N/m^2)

ρ = densitas (kg/m)

h = ketebalan lapisan sedimen (m)

f_0 = frekuensi dominan (Hz)

A_0 = amplifikasi

T_0 = periode dominan (s)

S_{HB} = spektrum horisontal batuan dasar

S_{VB} = spektrum vertikal batuan dasar

A_H = amplifikasi horisontal

A_V = amplifikasi vertikal

H/V = nilai perbandingan spektrum komponen horisontal dengan yang vertikal

$A_{east}(f)$ = nilai amplitudo spektrum komponen timur-barat

$A_{north}(f)$ = nilai amplitudo spektrum komponen utara-selatan

$A_{vertical}(f)$ = nilai amplitudo spektrum komponen vertikal

K_g = indeks kerentanan seismik (Hz^{-1})

δ = deformasi lapisan permukaan

α = percepatan gelombang seismik batuan dasar (m/s^2)

γ = *Ground Shear Strain*

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Secara geografis sebagian wilayah Indonesia berada di garis khatulistiwa, hal ini menyebabkan Indonesia memiliki dua musim yaitu musim kemarau dan musim penghujan. Pada musim kemarau sebagian besar wilayah Indonesia mengalami kekeringan sedangkan pada musim penghujan sebagian wilayah di Indonesia mengalami banjir dan kondisi aliran sungai memiliki debit air yang sangat besar. Kesenjangan akibat perubahan musim tersebut perlu dilakukan pengkajian, supaya besaran debit air bisa dimanfaatkan dan tidak menimbulkan masalah yang cukup besar (Pancawati *et al.*, 2016). Salah satu pemecahan masalah ini perlu dibuat waduk guna menampung air di alur sungai. Dinding waduk yang kokoh mampu menahan volume air yang cukup banyak. Namun, tekanan volume air dan material lain yang bertumbukan dengan dinding waduk menyebabkan dinding waduk mengalami pengerosan.

Waduk merupakan bangunan utama dalam suatu bangunan konstruksi yang terletak melintang memotong suatu aliran sungai dan berfungsi untuk menyadap air dari suatu sungai sebagai sumbernya. Waduk yang baik adalah waduk yang stabil dan mampu menahan tekanan air pada waktu banjir sehingga pada suatu kondisi tertentu yang mana laju air kolam waduk tersebut mencapai batas maksimal dibutuhkan suatu bangunan pelimpah cadangan (disamping adanya bangunan pelimpah utama) yang dapat difungsikan pada suatu waktu,

yakni suatu bangunan pelimpah darurat atau yang lebih dikenal dengan *emergency spillway* (Soedibyo, 2003). Selain itu, Standar Operasional Prosedur sebuah waduk harus dilakukan secara ketat karena sangat rawan bencana bila terjadi kebocoran. Pengelolaan tata ruang harus sesuai aturan. Di sekitar waduk tidak boleh ada bangunan dengan jarak < 200 meter. Kondisi geografis dinding waduk juga sangat memengaruhi kuat tidaknya bangunan tersebut.

Menurut hasil penelitian Azdan & Samekto (2008), Secara umum kegagalan dan kerusakan yang terjadi pada waduk di Indonesia di antaranya adalah erosi akibat mengalirnya air melalui lubang-lubang/pondasi) suatu waduk. Kedua, kerusakan akibat retakan (*crack*) yang sering kali menjadi penyebab kebocoran pada waduk. Ketiga, retakan yang patut diwaspadai adalah retakan dengan lebar lebih dari ¼ inchi. Jenis kerusakan ini terjadi pada waduk Kedung Ombo dan Kedung Bendo di Provinsi Jawa Tengah pada tahun 2008. Keempat, longSORAN (*slide*) pada waduk urugan disebabkan ketika gaya yang bekerja pada suatu bidang geser melampaui batas gaya yang dapat ditahan. Peluapan (*overtopping*) yakni peristiwa meluapnya air waduk melalui puncak bendungan yang terjadi karena banjir besar melebihi kapasitas dan gelombang tinggi melampaui puncak waduk yang diakibatkan gempa tektonik atau kelongsoran pada dinding waduk. Selain itu juga gempa bumi, siaga gempa bumi terjadi apabila gempa bumi terasa dan membawa akibat pada bangunan-bangunan utama di daerah waduk.

Gejala geologi yang memengaruhi kerentanan dinding waduk salah satunya adalah gempa bumi. Gempa bumi adalah getaran asli dari dalam bumi,

bersumber di dalam bumi yang kemudian merambat ke permukaan bumi. Salah satu dampak bencana gempa yaitu pergerakan tanah yang dapat menimbulkan kerusakan pada bangunan. Kerusakan pada dinding waduk disebabkan oleh kekuatan dan kualitas bangunan, kondisi geologi dan geoteknik suatu daerah akibat gempa bumi (Dewi, 2013).

Waduk Kedung Ombo (WKO) merupakan salah satu waduk besar di Indonesia. Kondisi Geografis merupakan wilayah perbukitan dan pegunungan di sebelah Barat dan Selatan. Sebelah utara WKO merupakan dataran rendah yang berupa persawahan dan pemukiman warga, sedangkan sebelah selatan merupakan dataran tinggi yang berupa berbukitan. WKO terletak di perbatasan tiga kabupaten di Provinsi Jawa Tengah yaitu Kabupaten Grobogan, Kabupaten Boyolali, dan Kabupaten Sragen. Tepatnya di Kecamatan Geyer, Kabupaten Grobogan. Struktur umum pada tempat ini berupa kekar, sesar, serta adanya perlipatan (baik berupa antiklin maupun sinklin) dan litologi yang terdapat pada daerah ini umumnya batu pasir yang bersifat karbonatan dan batu lanau/lempung.

Menurut Wulandari (2009), WKO diresmikan penggunaannya pada tahun 1989 oleh Presiden Soeharto artinya usia sudah mencapai 29 tahun. Dengan usia yang cukup tua maka waduk sudah rawan akan kerusakan, salah satunya adalah keretakan dinding waduk. Pemetaan geologi tersebut dipandang penting, terutama dengan memberikan penampang bawah permukaan tanah di daerah tersebut, mengingat salah satu fungsinya yaitu untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan, seperti longsor dan keretakan dinding waduk yang nantinya sangat

merugikan masyarakat sekitarnya dalam hasil pertanian maupun material yang lain, sehingga perlu diteliti lebih mendalam.

WKO mengalami peningkatan sedimentasi yang mengakibatkan pendangkalan dan penurunan kualitas waduk. Beberapa penelitian tentang sedimentasi di waduk tersebut telah dilakukan, salah satunya adalah Studi Optimalisasi Pola Eksploitasi dan Pemutakhiran Data Kapasitas Waduk Kedung Ombo dengan Pengukuran *Echosounding* oleh Pusat Studi Ilmu Teknik (PSIT) Universitas Gadjah Mada (UGM) pada tahun 2003 dan 2012. Hasil studi tahun 2003 menunjukkan laju sedimentasi rata-rata per tahun WKO sebesar 0,87 juta m^3 , dengan perkiraan usia waduk hingga tahun 2079. Hasil studi *echosounding* tahun 2012 menunjukkan laju sedimentasi per tahun sebesar 1,67 juta m^3 , dengan perkiraan usia waduk hingga tahun 2046. Data tersebut dapat disimpulkan bahwa dalam kurun waktu 9 tahun telah terjadi penurunan usia waduk sebesar 33 tahun (Hardiyanto *et al.*, 2014).

Menurut Harsoyo (2010), pada tahun 2009 peristiwa jebolnya waduk Situ Gintung menunjukkan bahwa kurangnya kajian mengenai kerentanan dinding waduk. Hal ini dikarenakan tidak adanya informasi tentang estimasi indeks kerentanan dinding waduk yang mampu dijadikan acuan untuk meminimalisasi jatuhnya korban jiwa pada saat dinding waduk tidak mampu lagi menahan volume air yang sangat banyak.

Salah satu metode yang mampu mengestimasi kerentanan dinding waduk adalah metode mikroseismik. Mikroseismik merupakan getaran alami (*ambient vibration*) yang berasal dari dua sumber utama yakni alam dan manusia

(Nakamura, 2000). Menurut Warnana *et al.*, (2011) dan Hidayat *et al.*, (2017) pada metode Mikroseismik terdapat teknik HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) yang pertama kali diperkenalkan oleh Noghosi dan Igarashi dan disebarakan oleh Nakamura, sehingga metode ini biasa dikenal juga dengan teknik Nakamura.

Penelitian kerentanan dinding bangunan dapat dihitung dengan menggunakan analisis HVSR. Penelitian tersebut pernah diterapkan untuk menentukan struktur bawah permukaan tanah menggunakan metode HVSR (Warnana *et al.*, 2011; Partono dan Irsyam, 2013; Yang *et al.*, 2013; Syahrudin *et al.*, 2014; Shaleha *et al.*, 2016; Sulistiawan *et al.*, 2017). Penelitian dengan metode mikroseismik juga pernah digunakan untuk mengetahui kekuatan bangunan (Febrina, 2016; Sunardi *et al.*, 2017). Selain itu, metode mikroseismik juga dapat digunakan untuk penelitian pergerakan tanah, analisis *Ground Shear Strain* (GSS), analisis *Peak Ground Acceleration* (PGA), profil ketebalan sedimen, dan lain-lain.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas maka dapat dirumuskan permasalahan: bagaimanakah estimasi distribusi indeks kerentanan seismik dinding WKO Kecamatan Geyer, Kabupaten Grobogan Jawa Tengah dengan metode Mikroseismik?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini menggunakan metode Mikroseismik dengan analisis HVSR di WKO Kecamatan Geyer, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui estimasi distribusi indeks kerentanan seismik dinding WKO Kecamatan Geyer, Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah dengan metode Mikroseismik.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil analisis yang dilakukan maka penelitian ini diharapkan:

1. Memberikan informasi kepada masyarakat sekitar waduk mengenai lokasi yang harus dihindari apabila terjadi kebocoran.
2. Memberikan informasi kepada pemerintah terkait hasil penelitian indeks kerentanan seismik dinding bangunan WKO.
3. Memberikan informasi tentang mitigasi bencana dari kerentanan seismik dinding bangunan WKO.

1.6 Penegasan Istilah

Pada penelitian ini untuk menghindari penafsiran yang berbeda terhadap beberapa istilah yang digunakan, maka perlu penegasan istilah sebagai berikut:

1. Mikroseismik merupakan getaran alami (*ambient vibration*) yang berasal dari dua sumber utama yakni alam dan manusia.
2. *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) adalah salah satu teknik dalam metode mikroseismik yang didasarkan pada perbandingan spektra komponen horizontal terhadap komponen vertikal dengan transfer gelombang dari batuan dasar ke permukaan.

G. Sistematika Penulisan Skripsi

Sistematika penulisan skripsi disusun untuk memudahkan pemahaman tentang struktur dan isi skripsi. Penulisan ini dibagi menjadi tiga bagian yaitu : bagian pendahuluan skripsi, bagian isi skripsi, dan bagian akhir skripsi.

1. Bagian awal skripsi berisi tentang lembar judul, persetujuan pembimbing, lembar pengesahan, lembar pernyataan, motto dan persembahan, kata pengantar, abstrak, daftar isi, daftar tabel, daftar gambar, dan lampiran.
2. Bagian isi skripsi terdiri dari :
 - Bab 1 Pendahuluan yang berisi tentang latar belakang pemilihan judul, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat penelitian, penegasan istilah, dan sistematika penulisan skripsi.
 - Bab 2 Landasan teori terdiri atas kajian mengenai landasan teori yang mendasari penelitian.
 - Bab 3 Metode Penelitian berisi waktu dan tempat pelaksanaan penelitian, desain penelitian, dan metode analisis serta interpretasi data dan metode pengumpulan data.
 - Bab 4 Hasil dan Pembahasan berisi tentang hasil-hasil penelitian dan pembahasannya.
 - Bab 5 Penutup berisi tentang kesimpulan dan saran.
3. Bagian akhir skripsi terdiri atas daftar pustaka dan lampiran.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

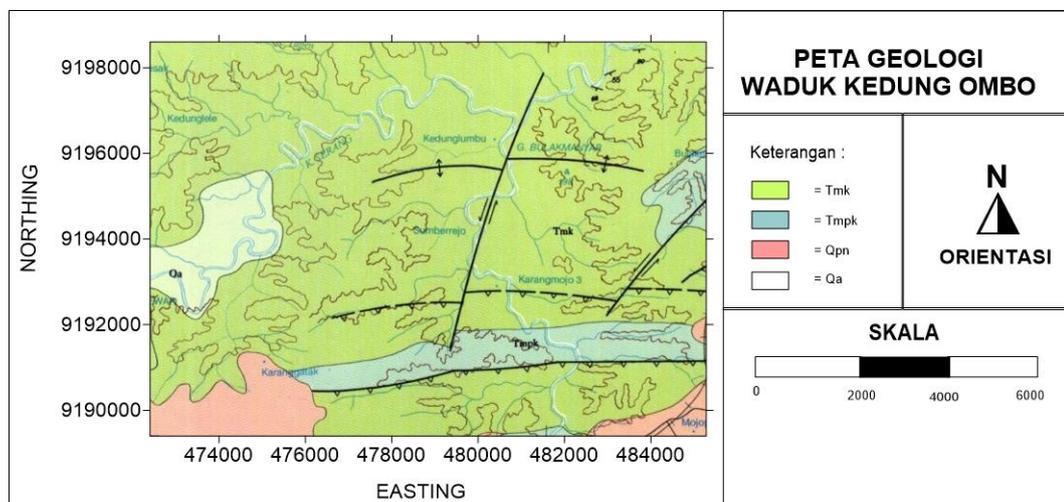
2.1 Geologi Daerah Penelitian

Secara fisiografis Kabupaten Grobogan tersusun atas daerah morfologi dataran rendah dan perbukitan dengan ketinggian 20-280 meter dpl. Bagian utara merupakan perbukitan dari rangkaian Zona Rembang sedangkan bagian selatan juga berupa perbukitan kapur yang merupakan bagian dari Pegunungan Kendeng yang membentang dari timur Semarang hingga Lamongan. Rangkaian pegunungan ini tersusun atas sedimen laut dalam yang terlipatkan dan tersesarkan secara intensif membentuk suatu antiklinorium.

WKO merupakan salah satu waduk besar di Indonesia. Kondisi Geografis merupakan wilayah perbukitan dan pegunungan di sebelah Barat dan Selatan. Sebelah utara WKO merupakan dataran rendah yang berupa persawahan dan pemukiman warga, sedangkan sebelah selatan merupakan dataran tinggi yang berupa berbukitan. WKO terletak di perbatasan tiga kabupaten di Provinsi Jawa Tengah yaitu Kabupaten Grobogan, Kabupaten Boyolali, dan Kabupaten Sragen. Tepatnya di Kecamatan Geyer, Kabupaten Grobogan. Struktur umum pada tempat ini berupa kekar, sesar, serta adanya perlipatan (baik berupa antiklin maupun sinklin).

Pada peta geologi lembar Salatiga (Thanden *et al.*, 1996) Kelurahan Geyer, Kabupaten Grobogan secara astronomis terletak di antara garis 7°15' – 7°20' Lintang Selatan dan garis 110°45' – 110°52' Bujur Timur. Struktur geologi

di daerah WKO termasuk dalam Formasi Kalibeng (Tm_{pk}) dengan struktur batuan napal pejal dibagian atas dan bersisipan batu pasir tufan serat bintal batu gamping dibagian bawah, Formasi Notopuro (Q_{pn}) dengan struktur batuan dari breksi lahar dibagian bawah dan perselingan tuf dengan batu pasir tufan dibagian atas, dan Aluvium (Q_a) dengan struktur batuan kerakal, krikil, pasir dan lempung. Selain formasi di atas, yang paling dominan yaitu Formasi Kerek (T_{mk}) dimana struktur batuanya dari bagian bawah batuan sedimen tipe *flysch* berlapis yang sangat baik, terdiri dari perselingan batu lanau, batu lempung, batu pasir gampingan, batu gamping pasiran yang mengandung bahan gunung api, bagian atas napal bersisipan batu pasir tufan-gampingan, batu lanau tufan dan batu pasir kerikilan yang mengandung bahan gunung api sangat banyak.



Gambar 2.1 Peta Geologi Waduk Kedung Ombo (Thanden *et al.*, 1996).

2.2 Waduk

Sebuah waduk berfungsi sebagai penangkap air dan menyimpannya di musim hujan waktu air sungai mengalir dalam jumlah besar dan yang melebihi kebutuhan baik untuk keperluan irigasi, air minum, industri atau lainnya. Konsep

dasar perencanaan sebuah waduk biasanya tidak berdiri sendiri melainkan menjadi satu dengan perencanaan sebuah bendung yang lokasinya berjarak beberapa kilometer di sebelah hilirnya. Salah satu faktor kerusakan dinding waduk adalah retakan (*crack*). Retakan yang patut diwaspadai adalah retakan dengan lebar lebih dari ¼ inchi, retakan ini terjadi pada Waduk Kedung Ombo yang ditunjukkan pada lampiran 2. Selain itu , WKO juga mengalami peningkatan laju sedimentasi, dapat dilihat pada tabel 2.1 (Hardiyanto *et al.*, 2014). Sedimentasi adalah suatu proses pengendapan material yang ditransport oleh media air, angin, es, atau gletser di suatu cekungan (Dian *et al.*, 2012).

Tabel 2.1 Laju Sedimentasi WKO (Hardiyanto *et al.*, 2014)

Tahun	1989	1994	2003	2012
Volume Waduk	723,16	711,23	703,43	688,414
Besar sedimentasi (juta m^3)	-	11,93	7,81	14,59
Laju sedimentasi (juta m^3)/tahun	-	2,39	0,87	1,67

Faktor- faktor yang berpengaruh dalam instrumentasi waduk adalah:

- a. Tingkat risiko, kelas bahaya, dimensi waduk, dan volume waduk
- b. Kondisi topografi, geologi, dan kegempaan setempat
- c. Tingkat permasalahan pada tahap desain dan atau pelaksanaan konstruksinya dan tipe waduknya

Tabel 2.2 Tabel Masa Pakai Bagian Struktural Bangunan (Frick & Mulyani, 2006)

Bagian Struktural Bangunan	Masa Pakai (tahun)
Dinding Batu Alam	Lebih dari 90
Dinding Batu Bara	Antara 60-90
Dinding Beton	Antara 60-90
Dinding Konstruksi Kayu	Antara 30-60

Berdasarkan konstruksi bangunannya, waduk dibagi menjadi 2 yaitu, waduk urugan dan waduk beton.

2.2.1 Waduk Urugan

Kelemahan waduk ini tidak mampu menahan limpasan diatas mercunya, dimana limpasan yang terjadi dapat menyebabkan longsoran pada lereng hilir yang dapat mengakibatkan jebolnya waduk. Karena tubuh waduk terdiri dari timbunan tanah atau timbunan batu yang berkomposisi lepas, maka jebolnya waduk umumnya disebabkan oleh:

- a. Erosi buluh (*internal erosion*) baik melalui tubuh waduk, pondasi maupun bukit tumpuannya.
- b. Retak memanjang sebagai akibat perbedaan penurunan sepanjang bidang antara zona yang berdekatan.
- c. Kerusakan karena tersumbatnya sistem drainase.
- d. Limpasan air lewat puncak waduk karena kapasitas bangunan pelimpah yang tidak cukup.

- e. Retak melintang karena perbedaan penurunan yang terjadi antara timbunan dan bukit tumpuan yang curam

2.2.2 Waduk Beton

Karakteristik waduk beton adalah tahan lama dan hampir tidak memerlukan perawatan, memerlukan kondisi geologi yang baik dilokasi waduk, pelaksanaan memerlukan ketelitian yang tinggi. Adapun sifat-sifat beton yaitu daya rembesan kecil, penyusutan beton kecil, berat jenis beton homogen, perubahan volume beton kecil (Hastowo, 2003).

2.3 Gempa bumi

Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba. Gempa bumi yang merupakan fenomena alam yang bersifat merusak dan menimbulkan bencana dapat digolongkan menjadi empat jenis, yaitu Gempa bumi Vulkanik (Gunung Api), Gempa bumi Tektonik, Gempa bumi Runtuhan, Gempa bumi Buatan (Irsyam *et al.*, 2010).

Berdasarkan besar kekuatan dalam Skala Richter (SR), gempa bumi dapat dibedakan atas :

- a. Gempa bumi sangat besar dengan magnitudo lebih besar dari 8 SR.
- b. Gempa bumi besar magnitudo antara 7 hingga 8 SR.
- c. Gempa bumi merusak magnitudo antara 5 hingga 6 SR.
- d. Gempa bumi sedang magnitudo antara 4 hingga 5 SR.
- e. Gempa bumi kecil dengan magnitudo antara 3 hingga 4 SR .
- f. Gempa bumi mikro magnitudo antara 1 hingga 3 SR .

2.3.1 Parameter Sumber Gempa Bumi

Sumber-sumber gempabumi keberadaannya ada pada perbatasan lempeng lempeng tektonik dan patahan-patahan aktif. Indonesia merupakan salah satu wilayah yang rawan terhadap gempabumi, karena terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama dan satu lempeng tektonik kecil. Ketiga lempeng tektonik itu adalah lempeng tektonik Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik serta lempeng kecil Filipina.

Parameter Gempa bumi menurut Boen (2000) dan Sudibyakto (2000) meliputi magnitudo gempa bumi dan intensitas gempa bumi.

a. Magnitudo Gempa

Magnitudo adalah ukuran kekuatan gempabumi, menggambarkan besarnya energi yang terlepas pada saat gempabumi terjadi dan merupakan hasil pengamatan Seismograf.

b. Intensitas Gempa

Intensitas gempabumi adalah cerminan pengaruh guncangan gempabumi terhadap tingkat kerusakan sarana dan prasarana. Beberapa faktor yang memengaruhi rusaknya sarana dan prasarana adalah rekayasa bangunan, jarak dari pusat gempa dan sifat batuan.

2.4 Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang elastik yang menjalar di dalam medium bumi. Gelombang elastik menjalar di dalam medium seperti gelombang suara. Gelombang seismik dapat diukur dengan menggunakan alat seismometer.

Secara umum, gelombang seismik dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu gelombang badan dan gelombang permukaan (Bath, 1979).

2.4.1 Gelombang Badan

Gelombang badan adalah gelombang yang merambat di sela-sela bebatuan di bawah permukaan bumi. Efek kerusakan yang ditimbulkan dari gelombang ini cukup kecil. Gelombang badan dibagi menjadi dua bagian, yaitu gelombang P dan gelombang S.

a. Gelombang P

Gelombang P (gelombang longitudinal) merupakan gelombang seismik yang memiliki cepat rambat yang lebih cepat dibanding gelombang S. Ketika terjadi gempa gelombang ini pertama kali tercatat oleh stasiun perekam. Oleh karena itu disebut sebagai gelombang primer atau gelombang P. Gelombang ini memiliki arah getaran yang sejajar dengan arah penjarannya (Gambar 2.2). Gelombang P dapat merambat melalui medium padat, cair dan gas (Lowrie, 2007). Persamaan kecepatan gelombang P adalah sebagai berikut:

$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (2.1)$$

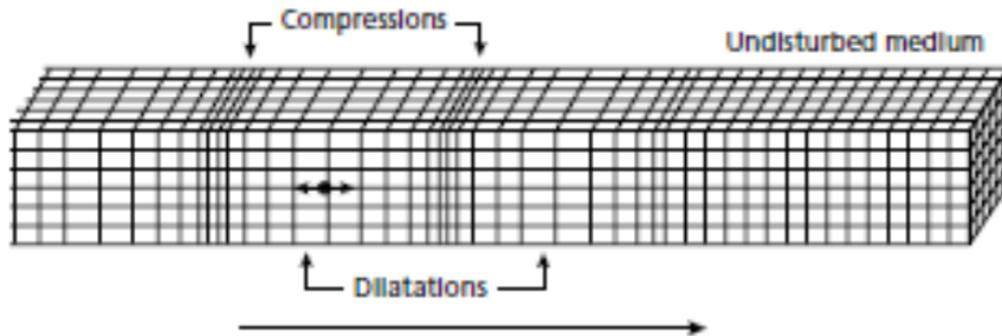
dengan:

v_p = cepat rambat gelombang P (m/s)

λ = konstanta Lamé (N/m^2)

μ = rigiditas (N/m^2)

ρ = densitas (kg/m)



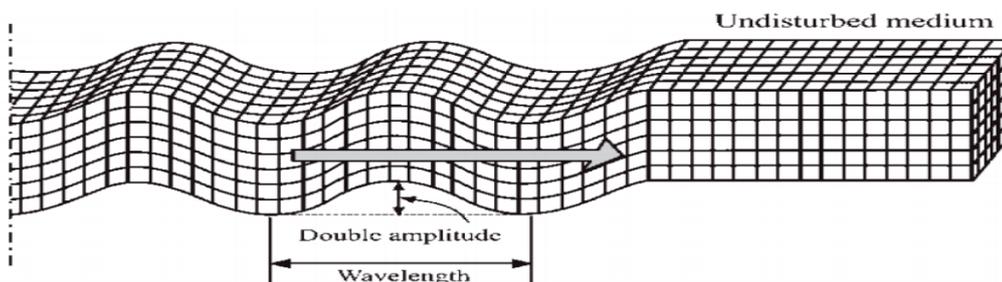
Gambar 2.2 Gerakan partikel gelombang P (Elnashai & Sarno, 2008).

b. Gelombang S

Gelombang S disebut juga gelombang *shear* atau gelombang transversal. Gelombang ini memiliki cepat rambat yang lebih lambat bila dibandingkan dengan gelombang P dan hanya dapat merambat pada medium padat saja. Pada saat terjadi gempa bumi gelombang S terekam setelah gelombang P. Gelombang S tegak lurus terhadap arah rambatnya. Persamaan dari kecepatan gelombang S adalah sebagai berikut (Afnimar, 2009):

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2.2)$$

dengan v_s = cepat rambat gelombang S (m/s), μ = rigiditas (N/m^2), dan ρ = densitas (kg/m)



Gambar 2.3 Gerakan partikel gelombang S (Elnashai & Sarno, 2008).

Gelombang S dibagi menjadi dua bagian, yaitu:

1. Gelombang SV

Gelombang SV adalah gelombang S yang gerakan partikelnya terpolarisasi pada bidang vertikal.

2. Gelombang SH

Gelombang SH adalah gelombang S yang gerakan partikelnya horizontal.

2.4.2 Gelombang Permukaan

Gelombang permukaan merupakan gelombang yang kompleks dengan frekuensi rendah dan amplitudo besar. Gelombang ini menjalar akibat adanya perbedaan sifat elastik suatu lapisan. Ada dua tipe gelombang permukaan yaitu, gelombang Rayleigh dan gelombang Love (Susilawati, 2008).

2.5 Mikroseismik

Mikroseismik merupakan getaran tanah selain gempa bumi, bisa berupa getaran akibat aktivitas manusia maupun aktivitas alam. Mikroseismik bisa terjadi karena getaran akibat orang yang sedang berjalan, getaran mobil, getaran mesin mesin pabrik, getaran angin, gelombang laut atau getaran alamiah dari tanah (Nakamura, 2008; Nikulins, 2017).

2.5.1 Mikroseismik Pada Tanah

Pada analisis data mikroseismik telah digunakan Teknik HVSR secara luas untuk studi efek lokal dan mikrozonasi (Warnana *et al.*, 2011). Selain sederhana dan bisa dilakukan kapan dan di mana saja, teknik ini juga mampu mengestimasi frekuensi resonansi secara langsung tanpa harus mengetahui struktur kecepatan

gelombang geser dan kondisi geologi bawah permukaan lebih dulu (Herak, 2008).

2.5.2 HVSR

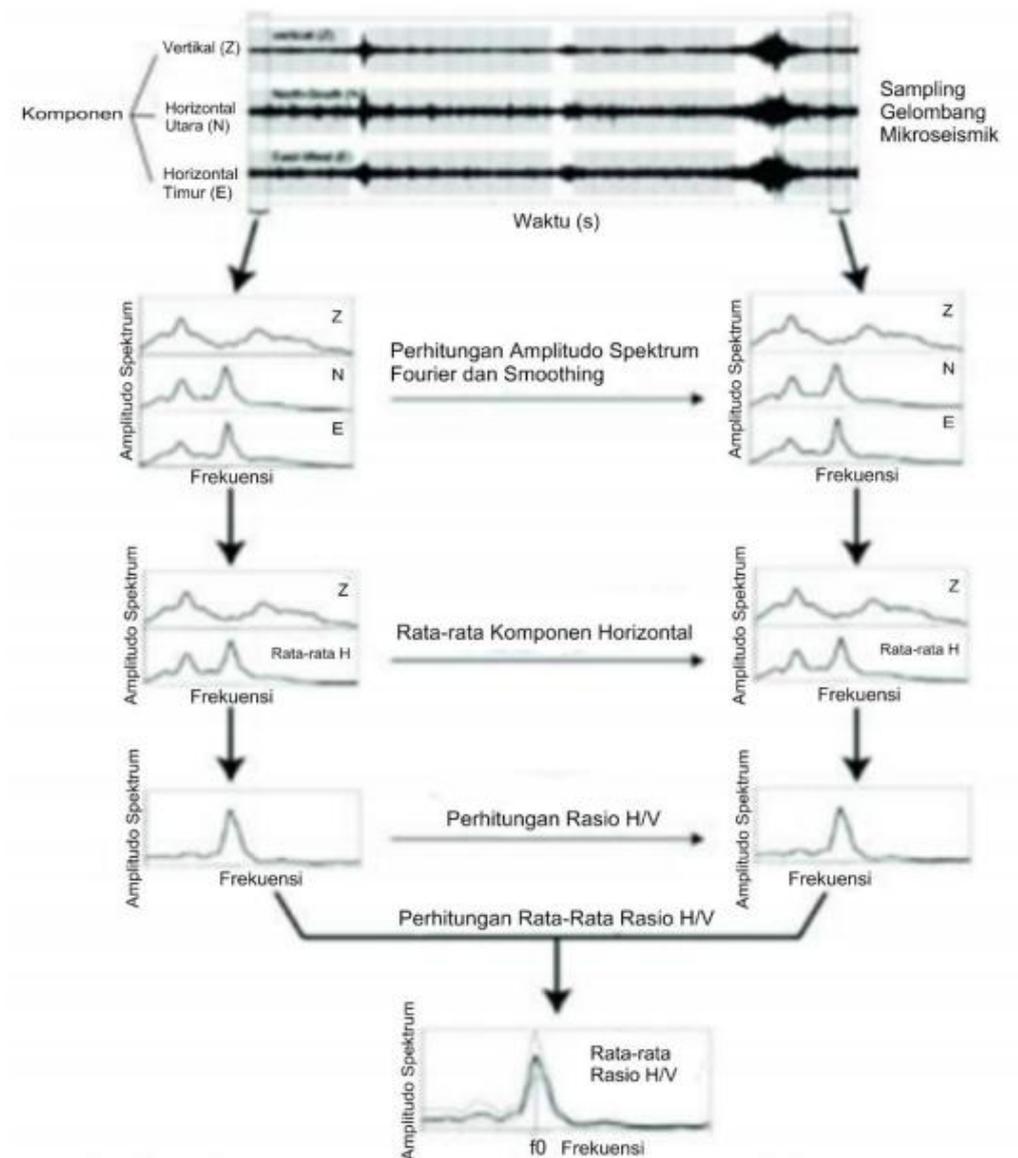
Metode HVSR didasari oleh terperangkapnya gelombang sekunder (gelombang SH) pada medium sedimen di atas batuan dasar. Gelombang SH berperan sangat penting di dalam kurva HVSR yang direpresentasikan oleh persamaan berikut ini:

$$h = \frac{v_s}{4f_0} \quad (2.3)$$

dengan h = ketebalan lapisan sedimen, v_s = kecepatan gelombang S, dan f_0 = frekuensi dominan.

Metode HVSR pertama kali diperkenalkan oleh Noghosi dan Igarashi dan disebarakan oleh Nakamura, sehingga metode ini biasa dikenal juga dengan teknik Nakamura. Nakamura mencoba memisahkan efek sumber gelombang dengan efek geologi dengan cara menormalisir spektrum komponen horizontal dengan komponen vertikal pada titik ukur yang sama. Hasil pengamatan Nakamura menunjukkan bahwa rekaman pada stasiun yang berada pada batuan keras, nilai maksimum rasio spektrum komponen horizontal terhadap vertikal mendekati nilai 1. Sedangkan pada stasiun yang berada pada batuan lunak, rasio nilai maksimumnya mengalami perbesaran (amplifikasi), yaitu lebih besar dari 1. Berdasarkan kondisi tersebut, Nakamura merumuskan sebuah fungsi transfer HVSR mikrotremor. Metode HVSR biasanya digunakan pada seismik pasif (mikroseismik) tiga komponen. Parameter penting yang dihasilkan dari metode HVSR adalah frekuensi dominan dan amplifikasi.

Data yang digunakan harus memiliki tiga komponen sinyal: Utara–Selatan, Timur–Barat, dan Vertikal seperti yang terlihat pada Gambar 2.4 di bawah ini.

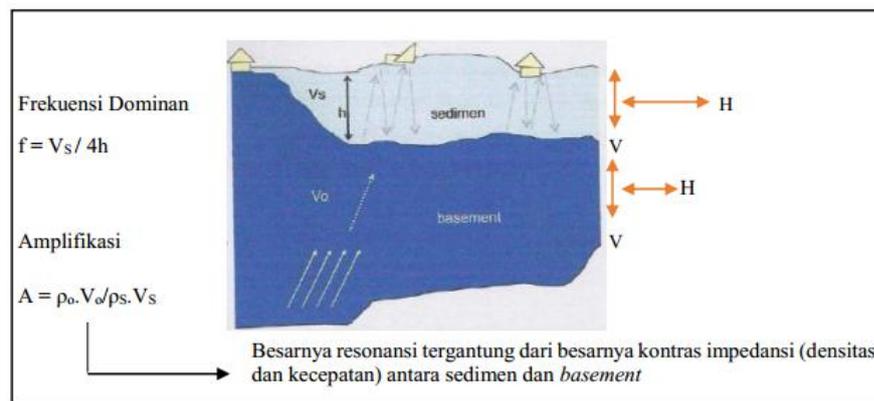


Gambar 2.4 Deskripsi komputasi metode HVSR (Nakamura, 2008)

2.6 Amplifikasi

Amplifikasi suatu gelombang dapat terjadi ketika suatu benda yang memiliki frekuensi tertentu diusik oleh gelombang lain dengan frekuensi yang

sama. Amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan. Gelombang seismik akan mengalami perbesaran, jika merambat pada suatu medium ke medium lain yang lebih lunak dibandingkan dengan medium awal yang dilaluinya. Faktor amplifikasi juga dipengaruhi oleh densitas material dan kecepatan gelombang sedimen. Nilai faktor penguatan tanah berkaitan dengan perbandingan kontras impedansi lapisan permukaan dengan lapisan di bawahnya. Bila perbandingan kontras impedansi kedua lapisan tersebut tinggi maka nilai faktor penguatan juga tinggi, begitu pula sebaliknya (Nakamura, 2000).



Gambar 2.5 Konsep dasar amplifikasi gelombang seismik (Cipta, 2009)

Faktor amplifikasi memberikan gambaran tentang perbesaran percepatan gerakan tanah dari batuan dasar ke permukaan. Perbesaran percepatan tanah dari batuan dasar ke permukaan disebabkan karena perbedaan v_s batuan dasar dan pada lapisan sedimen. Nilai v_s dari batuan dasar ke permukaan akan mengecil karena semakin dalam lapisan batuan maka densitasnya semakin besar. Nilai v_s yang semakin mengecil menyebabkan kecilnya nilai modulus geser dan faktor redaman, sehingga percepatan tanah akan semakin membesar (Partono *et al.*, 2013).

Semakin lunak suatu lapisan sedimen permukaan maka nilai amplifikasi akan semakin besar sehingga amplitudo gelombang yang menjalar akan semakin besar (Prabowo & Sismanto, 2016: 115-116). Faktor geologi sangat dominan terhadap variasi nilai amplifikasi (Susilanto *et al.*, 2016)

Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah sesuai dengan *Eurocode*

Tipe Tanah	Uraian Gambar Stratigrafi	v_{S30} (m/s)
A	Batuan atau formasi batuan lainnya	>800
B	Endapan <i>sand</i> atau <i>clay</i> yang sangat padat, <i>gravel</i> , pada ketebalan beberapa puluh meter, ditandai dengan peningkatan sifat mekanik terhadap kedalaman.	360-800
C	Endapan <i>sand</i> padat atau setengah padat yang tebal, <i>gravel</i> atau <i>clay</i> padat dengan ketebalan beberapa puluh hingga ratusan meter	180-360
D	Endapan tanah kohesi rendah sampai sedang (dengan atau tanpa beberapa lapisan kohesi rendah), atau terutama pada tanah kohesi rendah	<180
E	Lapisan tanah terdiri aluvium pada permukaan dengan nilai Vs tipe C atau D dengan ketebalan bervariasi antara 5-20 meter, dibawah tanah ini berupa material keras dengan Vs >800 m/s	
S1	Endapan terdiri dari atau mengandung, ketebalan lapisan minimal 10 m, pada tanah lempung lunak atau lempung lanauan dengan indeks plastisitas dan kadar air yang tinggi.	<100 (indikasi)
S2	Endapan tanah likuifiable, dari <i>clay</i> yang sensitif atau tanah lain yang tidak termasuk	

dalam tipe A-E atau S1.

2.7 Analisis HVSr

Nakamura (2000) mengasumsikan bahwa data mikroseismik tersusun atas beberapa jenis gelombang, tetapi utamanya adalah gelombang rayleigh yang merambat pada lapisan sedimen diatas batuan dasar. Efek gelombang rayleigh pada mikroseismik terdapat pada spektrum komponen vertikal di lapisan sedimen permukaan, tetapi tidak terdapat pada spektrum komponen vertikal di batuan dasar. Komponen vertikal mikroseismik tidak teramplifikasi oleh lapisan sedimen ($A_V = 1$) di permukaan tanah. Jika komponen vertikal lebih besar daripada spektrum gerak vertikal di batuan dasar ($V_f \gg S_{VB}$) maka berdasarkan persamaan (2.2) terdapat pengaruh gelombang rayleigh di lapisan sedimen. H/V ditentukan berdasarkan perbandingan faktor amplifikasi gerakan horizontal (A_H) dan vertikal (A_V) dari permukaan tanah yang terkena batuan dasar.

$$A_H = \frac{H_f}{S_{HB}} \quad (2.4)$$

$$A_V = \frac{V_f}{S_{VB}} \quad (2.5)$$

sehingga,

$$H/V = \frac{A_H}{A_V} = \frac{H_f \cdot S_{VB}}{V_f \cdot S_{HB}} \quad (2.6)$$

dengan S_{HB} = spektrum horisontal batuan dasar, S_{VB} = spektrum vertikal batuan dasar, A_H = amplifikasi horizontal, A_V = amplifikasi vertikal.

Menurut Nakamura (2008) dan Nikulins (2017) mengatakan bahwa nilai amplifikasi dipengaruhi oleh sumber meskipun sangat kecil. Metode HVSR didasarkan pada perbandingan antara amplitudo spektral komponen horisontal terhadap komponen vertikal seperti pada persamaan 2.4.

$$H/V = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} = \frac{\sqrt{(A_{east})^2 + (A_{north})^2}}{A_{vertical}} \quad (2.7)$$

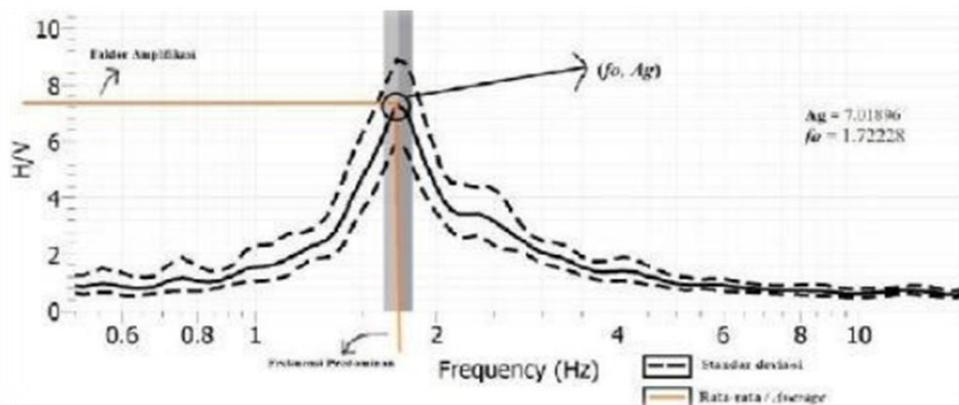
dengan:

H/V = nilai perbandingan spektrum komponen horizontal dengan yang vertikal

$A_{east}(f)$ = nilai amplitudo spektrum komponen timur-barat

$A_{north}(f)$ = nilai amplitudo spektrum komponen utara-selatan

$A_{vertical}(f)$ = nilai amplitudo spektrum komponen vertikal



Gambar 2.6 Kurva HVSR dimana sumbu y menunjukkan nilai amplifikasi dan sumbu x menunjukkan nilai frekuensi dominan (Wibowo, 2015).

2.7.1 Analisis Frekuensi Dominan

Menurut Zaharia *et al.*, (2008) frekuensi dominan adalah nilai frekuensi yang kerap muncul sehingga diakui sebagai nilai frekuensi natural dari lapisan batuan di wilayah tersebut. Semakin kecil nilai frekuensi dominan maka semakin tebal lapisan sedimen sehingga kedalaman dari batuan dasar juga semakin dalam.

Jika frekuensi dari sebuah bangunan sama dengan frekuensi dominan dari lapisan tanah maka akan terjadi resonansi gelombang yang dapat menyebabkan penguatan gelombang seismik sehingga dapat menyebabkan kerusakan yang besar pada bangunan. Hasil simulasi menunjukkan nilai puncak frekuensi berubah terhadap variasi kondisi geologi, di tunjukkan pada Tabel 2.4 berikut ini:

Tabel 2.4 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan Mikroseismik Oleh Kanai (Dikutip dari Buletin Meteorologi dan Geofisika No.4, 1998)

Klasifikasi Tanah	Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Jenis I	6,667-20	Batuan Tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>Hard sandy, gravel</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras.
Jenis II	4-6,667	Batuan Alluvial, dengan ketebalan 5 cm. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5-10 meter.
Jenis III	2,5-4	Batuan Alluvial, dengan ketebalan >5 cm. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 10-30 meter
Jenis IV	<2,5	Batuan Alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur,dll.	Dengan kedalaman 30 m atau lebih.

2.7.2 Analisis Periode Dominan

Nilai periode dominan merupakan waktu yang dibutuhkan gelombang mikroseismik untuk merambat melewati lapisan endapan sedimen permukaan atau mengalami satu kali pemantulan terhadap bidang pantulnya ke permukaan. Nilai periode dominan juga mengindikasikan karakter lapisan batuan yang ada di suatu wilayah, ditunjukkan pada tabel 2.5 berikut ini.

Tabel 2.5 Klasifikasi Tanah Kanai – Omote – Nakajima (Dikutip dari Buletin Meteorologi dan Geofisika No.4, 1998)

Klasifikasi Tanah	Periode (T) second	Keterangan	Karakter
Jenis I	0,05-0,15	Batuan Tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>Hard sandy, gravel</i> , dll.	Keras
Jenis II	0,15-0,25	Batuan Alluvial, dengan ketebalan 5 cm. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll.	Sedang
Jenis III	0,25-0,40	Batuan Alluvial, hampir sama dengan jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi <i>bluff</i> .	Lunak
Jenis IV	>0,40	Batuan Alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur,dll. Dengan kedalaman 30 m atau lebih.	Sangat Lunak

Nilai periode dominan didapatkan berdasarkan perhitungan berikut:

$$T_0 = \frac{1}{f_0} \quad (2.8)$$

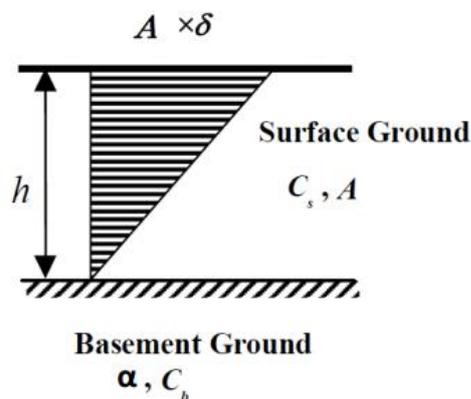
dengan T_0 = periode dominan dan f_0 = frekuensi dominan

2.8 Indeks Kerentanan Seismik

Indeks kerentanan seismik (K_g) adalah indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempa bumi (Febriani *et al.*, 2013). Menurut Nakamura (1996) nilai K_g secara akurat digunakan untuk memperkirakan kerusakan gempa pada permukaan tanah dan struktur permukaan. Nilai kerentanan gempa diperoleh dengan mengkuadratkan amplifikasi dibagi dengan frekuensi dominannya, sehingga nilai K_g dirumuskan seperti persamaan:

$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (2.9)$$

dengan K_g = indeks kerentanan seismik (Hz^{-1}), A_0 = amplifikasi, dan f_0 = frekuensi dominan (Hz).



Gambar 2.7 Pergeseran dari permukaan tanah (Nakamura, 2008)

Menurut Nakamura (1997) dan Yuliyanto (2017) parameter yang memengaruhi nilai Kg adalah nilai GSS (γ) yang mengalami penguatan jika merambat pada medium yang densitasnya lebih rendah, dalam hal ini adalah lapisan tanah permukaan. Nilai γ pada lapisan tanah permukaan menggambarkan kemampuan material lapisan tanah untuk saling meregang dan atau bergeser saat terjadi gempa. Nilai γ dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\gamma = A_0 \cdot \frac{\delta}{h} \quad (2.10)$$

dengan γ = nilai GSS, A_0 = amplifikasi, δ = deformasi lapisan permukaan, h = ketebalan lapisan sedimen.

Hubungan antara nilai Kg dan γ dituliskan:

$$\gamma = Kg \frac{\alpha}{\pi^2 Cb} \quad (2.11)$$

$$Cb = 4A_0 h f_0 \quad (2.12)$$

dengan Cb merupakan kecepatan gelombang seismik di batuan dasar (m/s), h = ketebalan lapisan sedimen (m), dan α = Percepatan tanah maksimum (m/s^2).

Tabel 2.6 Nilai regangan sifat dinamis tanah (Nakamura, 2008)

Besar nilai regang γ	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
Fenomena	Gelombang, Getaran		Retakan pada lapisan tanah dan permukaan		Longsor, Pemadatan tanah, Likuifaksi	
Sifat dinamis	Elastisitas		Plastisitas – Elastis		Jatuh	
			Efek Perulangan, Efek kecepatan dari			

2.9 Percepatan Tanah Maksimum

Percepatan Tanah Maksimum (*Peak Ground Acceleration*) yaitu percepatan getaran tanah yang tertinggi yang pernah terjadi pada suatu kawasan akibat gempa bumi. Para ahli geofisika sering menggunakan nilai percepatan tanah maksimum sebagai parameter untuk menentukan dan memetakan tingkat risiko suatu kawasan terhadap bencana gempa bumi.

Menurut Edwiza & Novita (2008), *Peak Ground Acceleration* (PGA) di suatu tempat yang disebabkan oleh getaran seismik bergantung pada perambatan gelombang seismik dan karakteristik lapisan tanah (*alluvial deposit*) di tempat tersebut. Sifat-sifat lapisan tanah ditentukan oleh periode dominan tanah (*predominant period*) dari lapisan tanah tersebut bila ada getaran seismik. Periode getaran seismik dan periode dominan tanah akan memengaruhi besarnya percepatan batuan pada lapisan batuan dasar dan pada permukaan. Variasi nilai PGA dipengaruhi juga oleh ketebalan lapisan sedimen, kekerasan dan kontras fisis antara lapisan sedimen dan batuan dasar (Refrizon, 2013; Lestari, 2016).

BAB 5

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan data rekaman mikroseismik di daerah tanggul WKO pada titik wko3, wko4, wko5, wko6, wko8, wko16, wko17, wko18, wko20 dan wko21 memiliki nilai *Ground Shear Strain* antara 7×10^{-4} - $0,7 \times 10^{-3}$ artinya daerah tersebut memiliki tingkat kerawanan bahaya seismik yang rendah sehingga dapat dikatakan tanggul bendungan di daerah tersebut masih kokoh. Pada titik wko1, wko2, wko7, wko9, dan wko19 memiliki nilai *Ground Shear Strain* antara 3×10^{-3} - 4×10^{-3} artinya daerah tersebut memiliki tingkat kerawanan bahaya seismik yang sedang namun dimungkinkan adanya rekahan sehingga perlu dipantau secara berkelanjutan. Pada titik wko0, wko10, wko11, wko12, wko13, wko14, dan wko15 memiliki nilai *Ground Shear Strain* antara $0,6 \times 10^{-2}$ - $1,8 \times 10^{-2}$ artinya daerah tersebut memiliki tingkat kerawanan bahaya seismik yang tinggi dan dapat dikatakan sangat rentan terdeformasi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian ini, saran untuk penelitian selanjutnya:

- (1) Penelitian selanjutnya disarankan dilakukan pada malam hari guna menghindari banyaknya *noise* (getaran yang disebabkan karena aktivitas manusia).
- (2) Perlu dilakukan pemantauan secara berkelanjutan dan berkala untuk titik-titik yang rawan terdeformasi.
- (3) Uraian ketebalan dan struktur lapisan batuan pada waduk merupakan asumsi peneliti berdasarkan hasil analisis data dikarenakan keterbatasan dalam memperoleh data sebenarnya sehingga perlu adanya penelitian lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Afnimar. 2009. *Seismologi*. Bandung: ITB.
- Azdan, M. D. & C. Samekto. 2008. *Kritisnya Kondisi Bendungan di Indonesia*. Makalah dipresentasikan pada Seminar Nasional Bendungan Besar, Surabaya, 2-3 Juli.
- Bath, M. 1979. *Introduction to Seismology*. A Halsted Press Book.
- Boen, T. 2000. *Bencana Gempa Bumi: Fenomena dan Perbaikan/Perkuatan Bangunan (Berdasarkan Hasil Pengamatan terhadap Bangunan-Bangunan yang Rusak Akibat Gempa Bumi Bengkulu 4 Juni 2000)*. Jakarta: BPPT.
- CEN (2004). *Eurocode 8—design of structures for earthquakeresistance. Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings*. European standard EN 1998-1. December 2004. European Committee for Standardization. Brussels.
- Cipta, A. 2009. *Laporan Penelitian Penyelidikan Amplifikasi Wilayah Seririt, Propinsi Bali*. Bandung: Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Dewi, E. 2013. *Analisis Gound Shear Strain di Wilayah Kecamatan Jetis Kabupaten Bantul Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
- Dian, S., A. B. Setiawan, & Karsinah. 2016. Dampak Sedimentasi Bendungan Soedirman Terhadap Kehidupan Ekonomi Masyarakat. *Journal of Economics and Policy (JEJAK)*, 5(2):117-229.
- Edwiza, D. & S. Novita. 2008. Pemetaan Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Seismik Kota Padang Panjang Menggunakan Metode Kanai. *Teknika*, 2 (29), 101-118.
- Elnashai, A. S. & L. D. Sarno. 2008. *Fundamentals of Earthquake Engineering From Source To Fragility*. United State of American: Pennsylvania.
- Febriani, Y., I. Daruwati, & R.G. Hatika. 2013. Analisis Nilai Peak Ground Acceleration dan Indeks Kerentanan Seismik berdasarkan Data Mikroseismik pada Daerah Rawan Gempabumi di Kota Bengkulu. *Jurnal Ilmiah Edu Research*. Vol. 2, No. 2.

- Febrina, H. S. 2016. *Analisis kerentanan bangunan di Universitas 17 Agustus Kelurahan Bendan Duwur Semarang menggunakan analisis HVSR*. Skripsi. Semarang : Universitas Negeri Semarang.
- Frick, H & T.H. Mulyani. 2006. *Arsitektur Ekologis*. Yogyakarta: Kanisius.
- Hardiyanto, D. I., B. A. Kironoto & F. Nurrochmad. 2014. *Kajian Sediment Delivery Ratio di Daerah Tangkapan Waduk Kedung Ombo*. Tesis. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Harsoyo, B. 2010. Jebolnya Tanggul Situ Gintung (27 Maret 2009) Bukan Karena Faktor Curah Hujan Ekstrim. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 11 (1): 9-17.
- Hastowo, P. 2003. *Pedoman Kriteria Umum Bendungan*. Jakarta: Balai Keamanan Bendungan.
- Herak, M. 2008. Model HVSR-A Matlabs Tool to Model Horizontal to Vertical Spectral Ratio of Ambient Noise. *Journal Computer and Geosciences*, 34(11): 1514-1526.
- Hidayat, S., D. D. Warnana, S. Koesuma, & C. Cari. 2017. Local Site Effects Evaluation Using Microtremor Measurements at North Side of Pandan Mountain. *Journal of Physics: Theories and Applications*, 1(2): 89-96.
- Hidayatullah, R. H., Supriyadi, N. K. Nisa, T. Amrullah, & F. Rohmaniyah. 2017. Percepatan Tanah Berdasarkan Data Mikroseismik Wisata Bantir Sumowono Semarang. *Unnes Physics Journal*, 6(1):54-59.
- Irsyam, M. 2010. *Peran dan Pengembangan Rekayasa Geoteknik Kegempaan di Indonesia dalam Pembangunan Infrastruktur Tahan Gempa*. Bandung: Majelis Guru Besar Institut Teknologi Bandung
- Kurniawati, I., N. B. Wibowo, & D. Darmawan. 2017. Analisis Mikrotremor Untuk Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik di Kawasan Jalur Sesar Sungai Oyo Yogyakarta. *Jurnal Fisika*, 6(2):88-93.
- Lestari, F. P. 2016. Analisis Indeks Kerentanan Tanah di Wilayah Kota Padang (Studi Kasus Kecamatan Padang Barat dan Kuranji). *Jurnal Fisika Unand* Vol.5 No.1.
- Lowrie, W. 2007. *Fundamental of Geophysics*. New York: Cambridge University.
- Mudamakin, P, B., A. Rudiyanto, S. Rohadi, & R. Amalia. 2015. Studi Awal Respon Dinamis Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor di Bendungan

- Karangates Malang. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2015*. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta.
- Nakamura, Y. 1996. Real-Time Information Systems for Seismic Hazards Mitigation UrEDAS, HERAS, and PIC. *Quarterly Report of RTRI*, 37 (3): 122-124.
- Nakamura, Y. 1997. Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures Using Microtremor. *World Congress on Railway Research*.
- Nakamura, Y. 2000. *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Application*. The 12nd World Conference on Earthquake Engineering. Tokyo, Japan.
- Nakamura, Y. 2008. *On The H/V Spectrum*. The 14th World Conference on Earthquake Engineering. Beijing, China.
- Nashir, M.A.L. & A.S. Bahri. 2013. Karakterisasi Kekuatan Bangunan Wilayah Surabaya Jawa Timur Menggunakan Analisis Mikrotremor. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 1(1): 1-6.
- Nikulins, V. 2017. Seismic Properties of Soil in the Eastern Baltic Sea Region Based on the Horizontal to Vertical Spectral Ratio Method. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 66 (2): 109–117.
- Pancawati, K. D., Supriyadi, & Khumaedi. 2016. Identifikasi Kerentanan Dinding Bendungan dengan Menggunakan Metode Mikroseismik (Studi Kasus Bendungan Jatibarang, Semarang). *Unnes Physics Journal*, 5(2):21-26.
- Partono, W. & M. Irsyam. 2013. Aplikasi Metode HVSR pada Perhitungan Faktor Amplifikasi Tanah di Kota Semarang. *Jurnal Ilmu dan Terapan Bidang Teknik Sipil* .Vol. 19 No. 2.
- Prabowo, U. N. & M. Sismanto. 2016. Amplifikasi dan Atenuasi Gelombang Seismik di Lapisan Sedimen Permukaan. *Jurnal SCIENCE TECH*, 2(1): 112-116.
- Refrizon, A. I. Hadi, K. Lestari, & T. Oktari. 2013. Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Tingkat Kerentanan Seismik Daerah Ratu Agung Kota Bengkulu. *Prosiding Semirata FMIPA*. Lampung: Universitas Lampung.
- Shaleha, A., Supriyadi, & N. M. D. Putra. 2016. Identifikasi Struktur Lapisan Tanah Daerah Rawan Longsor di Kecamatan Banyubiru Kabupaten

- Semarang dengan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSr). *Unnes Physics Journal*, Vol. 5, No. 2.
- Sidharta, S. K. 1997. *Irigasi dan Bangunan Air*. Jakarta: Universitas Gunadarma.
- Soedibyo. 2003. *Teknik Bangunan*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Sudibyako. 2000. *Kajian dan Mitigasi Bencana gempabumi*. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada
- Sulistiawan, H., Supriyadi, & I. Yulianti. 2017. Seismic Hazard Analysis based on Earthquake Vulnerability and Peak Ground Acceleration using Microseismic Method at Universitas Negeri Semarang. *IOP Conf. Series: Journal of Physics*, Vol. 182, No. 1.
- Sumarta, V. A. 2014. *Identifikasi Resiko Bahaya Seismik Pada Bendungan Sermo Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
- Sunardi, B., E. N. Putri, P. Susilanto, & D. Ngadmanto. 2017. Penerapan Metode Inversi HVSr Untuk Pencitraan 3-D Kecepatan Gelombang Geser (Vs) di Kulon Progo Bagian Selatan. *Jurnal Riset Geofisika*, 1(2): 47-53.
- Sungkono & B.J. Santosa. 2010. Karakterisasi Horizontal-to Vertical Spectral Ratio: Kajian Literatur dan Pemodelan. *Jurnal Neutrino*, 4 (1), 1-15.
- Susilanto, P., D. Ngadmanto, Daryono, T. Hardy, & S. Pakpahan. 2016. Penerapan Metode Mikrotremor HVSr untuk Penentuan Respons Dinamika Kegempaan di Kota Padang. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 7(2): 79-88.
- Susilawati. 2008. *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa Pada Penelaahan Struktur Bagian Dalam Bumi*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Syahrudin, M. H., S. Aswad, E. F. Palullungan, Maria, & Syamsuddin. 2016. Penentuan Profil Ketebalan Sedimen Lintasan Kota Makassar dengan Mikrotremor. *Jurnal Fisika*, 4(1):17-25.
- Telford, W.M., L.P. Geldart, & L.E. Sheriff. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. New York: Cambridge University Press.
- Thanden, R.E., H. Sumadirdja, P.W. Richards, K. Sutisna, & T.C. Amin. 1996. *Peta Geologi Lembar Salatiga Jawa Tengah*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung.

- USGS. *Global V_s^{30} Map Server*. <http://earthquake.usgs.gov/hazards/apps/vs30/>. Diakses: 19 Februari 2018.
- Warnana, D.D., R.A.A. Soemitro, & W. Utama. 2011. Application of Microtremor HVSR Method for Assessing Site Effect in Residual Soil Slope. *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS*, 11(4): 100-105.
- Warnana, D.D., Triwulan, Sungkomo, & W. Utama. 2011. Assesment to the Soil-Structure Resonance Using Microtremor Analysis on Pare – East Java, Indonesia. *Asian Transactions on Engineering*, 1(4):6-12.
- Wibowo, N. B., & A. Gunawan. 2014. Analisis Spasial Respon Bendungan terhadap Model Peak Ground Acceleration (PGA) Berdasarkan Karakteristik Mikrotremor, Geologi Regional dan Amatan Instrumentasi pada Bendungan Sermo Kulonprogo. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 4(2):115-126.
- Wifayanti, E. J., & Sungkono. 2013. Estimasi Indeks Kerentanan Seismik Menggunakan Metode HVSR (Horizontal to Vertical Spektral Rasio). *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, Vol. 2, No. 1.
- Wulandari, I. 2009. *Tinjauan Kembali Bendungan Kedung Ombo Dalam Hal Kelayakan Elevasi Mercuru Bendung*. Skripsi. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Yang, W., M. F. M. Hussein, A.M. Marshall, & C. Cox. 2013. Centrifuge and Numerical Modelling of Ground-Borne Vibration from Surface Sources. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 44:78–89
- Yuliyanto, G., U. Harmoko, & S. Widada. 2017. Identify the slip surface of land slide in Wirogomo Banyubiru Semarang Regency using HVSR method. *International Journal of Applied Environmental Sciences*, 12 (12): 2069-2078
- Zaharia, B., M. Rudulian, M. Popa, B. Grecu, A. Bala, & D. Tataru. 2008. Estimation of the Local Response Using teh Nakamura Method for tha Bucharest Area. *Romanian Reports in Physics*, 60(1): 131-144.