



TUGAS AKHIR - SF 141501

**PENENTUAN POTENSI LONGSOR
MENGUNAKAN HORIZONTAL TO
VERTICAL SPECTRAL RATIO DATA
MIKROTREMOR (STUDI KASUS: DESA
KRADINAN, KECAMATAN PAGERWOJO,
TULUNGAGUNG JAWA TIMUR)**

BRAMANTYA RAMADHANY
NRP 01111440000019

Dosen Pembimbing
Dr. Sungkono, M.Si

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



TUGAS AKHIR - SF 141501

**PENENTUAN POTENSI LONGSOR
MENGUNAKAN HORIZONTAL TO
VERTICAL SPECTRAL RATIO PADA DATA
MIKROTREMOR (STUDI KASUS: DESA
KRADINAN, KECAMATAN PAGERWOJO,
TULUNGAGUNG, JAWA TIMUR)**

**BRAMANTYA RAMADHANY
NRP 0111144000019**

**Dosen Pembimbing
Dr. Sungkono, M.Si**

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - SF 141501

**LANDSLIDE-PRONE ESTIMATION USING
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL
RATIO OF MICROTREMOR DATA (CASE
STUDY: KRADINAN, PAGERWOJO,
TULUNGAGUNG REGENCY, EAST JAVA)**

**BRAMANTYA RAMADHANY
NRP 0111144000019**

**Promotor
Dr. Sungkono, M.Si**

**DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**"PENENTUAN POTENSI LONGSOR MENGGUNAKAN
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO PADA
DATA MIKROTREMOR (STUDI KASUS: DESA
KRADINAN, KECAMATAN PAGERWOJO,
TULUNGAGUNG, JAWA TIMUR)"**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Sains pada:
Program Sarjana Departemen Fisika
Fakultas Sains
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Disusun Oleh :
BRAMANTYA RAMADHANY
NRP: 0111144000019

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Dr. Sungkono, M.Si
NIP. 19850702.201404.1.002

(..........)



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**“PENENTUAN POTENSI LONGSOR MENGGUNAKAN
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO DATA
MIKROTREMOR (STUDI KASUS: DESA KRADINAN,
KECAMATAN PAGERWOJO, TULUNGAGUNG JAWA
TIMUR)”**

Nama : Bramantya Ramadhany
NRP : 0111144000019
Departemen : Fisika FS ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Sungkono, M.Si

ABSTRAK

Desa Kradinan Kec Pagerwojo Tulungagung merupakan desa yang berada di kaki pegunungan Wilis yang tersusun atas Formasi Mandalika. Desa ini berada diatas bukit dengan lembah yang curam menurun ke sungai. Kondisi inilah yang mengakibatkan sering terjadinya bencana tanah longsor. Oleh karena itu, penentuan potensi longsor di daerah ini dilakukan dengan menggunakan analisa *horizontal to vertical spectral ratio* (HVSR) dari data mikrotremor. Melalui parameter-parameter HVSR ini dapat diketahui bahwa area sisi kanan Desa Kradinan tergolong pada area rawan longsor yang ditunjukkan oleh nilai frekuensi dan percepatan minimum rendah serta amplifikasi, nilai indeks kerentanan tanah, dan *ground shear strain* yang tinggi, sedangkan sisi kiri Desa Kradinan diduga memiliki potensi longsor yang rendah.

Kata Kunci: *Amplifikasi, Frekuensi Natural, Indeks Kerentanan Tanah, Longsor, Mikrotremor,*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**“LANDSLIDE-PRONE ESTIMATION USING
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO OF
MICROTREMOR DATA (CASE STUDY: KRADINAN,
PAGERWOJO, TULUNGAGUNG REGENCY, EAST
JAVA)”**

Nama : Bramantya Ramadhany
NRP : 0111144000019
Departement : Physics, FIA-ITS
Advisor Lecturer : Dr. Sungkono
ABSTRACT

Kradinan in Pagerwojo, Tulungagung is a village located in the mountainous area of wilis and precisely in the middle of the lake which has steep valley that directs to the river. This geological condition causes the village to be landslide-prone area. The Estimation of Landslide-Prone area are conducted using Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) analysis from Microtremor data. through this parameter, the right side of Kradinan village is landslide-prone shown by low natural frequency result, high amplification and high seismic vulnerability indices while the left side of the Kradinan village is tend to safe. This results however are strenghten by the result of Minimum Ground Acceleration that shows the identic result

.Keywords: *Amplification, Landslide, Microtremor, Natural Frequency, Soil Vulnerability Indices*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

HALAMAN PERSEMBAHAN

**Untuk (Alm.) Bapakku
Sumber Semangat dan Inspirasiku**

**Everything has its wonders, even darkness and silence, and I
learn, whatever state I may be in, therein to be content
– *Hellen Keller***

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan YME, karena atas kasih dan karunia-Nya, Tugas Akhir yang berjudul **“Penentuan Potensi Longsor Menggunakan Horizontal to Vertical Spectral Ratio Data Mikrotremor (Studi Kasus: Desa Kradinan, Kecamatan Pagerwojo, Tulungagung Jawa Timur)”** ini dapat terselesaikan dengan baik. Dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini, penulis sangat berterimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu baik diskusi, masukan, saran serta bimbingan lain baik materiil maupun moril kepada pihak-pihak berikut:

1. Bapak Dr. Sungkono selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan masukan
2. Bapak Dr. Yono Hadi P., M.Eng. selaku Kepala Departemen Fisika FIA ITS dan juga Dosen Wali penulis yang memberikan dukungan moril
3. Seluruh staf di Departemen Fisika ITS yang telah mendidik penulis selama berada di kampus.
4. Kedua orang tua tercinta, (Alm.) Bapak & Ibu serta Kakak beserta keluarga yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis
5. Tim *Esobian Chapter Tulungagung* Arifah Fairuz Laili, Dimas Bagus, Nuril Huda Ardli Santosa, Alif Haidar, Dimas Ayu P.
6. Seluruh Masyarakat dan Perangkat Desa Kradinan Kecamatan Pagerwojo Tulungagung, Jawa Timur
7. Paguyuban Perintis (Agung, Cepe, Asa, Rahman, Afif, Haidar, Wildan, Iwan, *Inod*, *Kadir*, Baskoro, Irvan) yang telah memberikan penulis hiburan dan canda tawa
8. Jemaat Tayo Merah Regional Jawa Timur & Jawa Tengah (Agung, Jalu, Griffith, Ben, Galih, Irfan, Laatansa, Mas Aji, Putra, Mas Erwin, Yerri)
9. Rahayu Kiswanto yang telah menjadi Bapak bagi penulis selama berada di Laboratorium Geofisika

- 10.Seluruh Penghuni Laboratorium Geofisika, Dept Fisika (**Bukan Teknik Geofisika**) ITS Surabaya
- 11.Antares 2014 yang selalu mengisi hari-hari penulis, dikala waktu senang dan susah.
- 12.Adik-Adik Geofisika 2016,2017 dan 2018 yang semoga akan memegang bendera Laboratorium Geofisika (**Bukan Teknik Geofisika**) Dept. Fisika ITS untuk selanjutnya dan lebih maju.
- 13.Himasika ITS, SM-IAGI ITS, AAPG ITS-SC dan HMGI yang telah memberikan wadah penulis untuk meningkatkan kemampuan berorganisasi dan berkomunikasi
- 14.*Senior Geoscientists of European Association of Geoscience and Engineering* yang telah “mengenalkan” penulis ke dalam dunia *Geoscience* yang sesungguhnya
- 15.Seluruh pihak yang tidak bisa penulis sebut satu persatu.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu penulis dengan senang hati sangat menerima komentar, masukan, kritik serta saran agar kedepannya tugas Akhir ini dapat dikembangkan lebih baik. Akhir kata, penulis berharap tugas ini dapat bermanfaat bagi para pembaca

Salam Hangat,
Surabaya, 31 Mei 2019 (27 Ramadhan 1440 H)

Penulis
Bramantya Ramadhany

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	2
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian	5
2.2 Pergerakan Tanah dan Longsor	6
2.3 Mikrotremor	7
2.4 Metode Pengolahan Sinyal	9
2.4.1 Discrete Fourier Transform	9
2.4.2 Fast Fourier Transform.....	10
2.5 Horizontal to Vertical Spectral Ratio	10
2.6 Frekuensi Natural dan Amplifikasi	12

2.7 Hubungan Indeks Kerentanan Seismik dan Kuat Geser Tanah	13
BAB III.....	17
METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Peralatan dan Bahan	17
3.2 Tahapan Penelitian	18
BAB IV.....	23
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Analisa Data	23
4.2 Pembahasan	25
4.2.1 Analisa Frekuensi Natural	25
4.2.2 Analisa Amplifikasi.....	29
4.2.3 Analisa Indeks Kerentanan Tanah.....	31
4.2.4 Analisa Indeks <i>Ground Shear Strain</i>	33
4.2.5 Analisa Indeks Percepatan Getaran Minimum	35
4.2.6 Analisa Zona Potensi Tanah Longsor.....	38
BAB V.....	41
KESIMPULAN	41
5.1 Kesimpulan.....	41
DAFTAR PUSTAKA.....	43
LAMPIRAN	47
BIODATA PENULIS.....	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Salah satu lereng di Desa Kradinan, Tulungagung....	6
Gambar 2.2 Tegangan permukaan tanah.....	14
Gambar 3. 1 Alat-alat yang dibutuhkan untuk penelitian tugas akhir: (a) alat mikrotremor, (b) multimeter, (c) GPS, (d) aki 12 volt, dan (e) kompas.	17
Gambar 3. 3 Lokasi dan Titik Pengambilan Data	19
Gambar 4. 1 Data Pengukuran Pada titik 1	23
Gambar 4. 2 Proses <i>Windowing</i> Data pada titik 1	24
Gambar 4. 3 Kurva HVSR pada titik 1.....	25
Gambar 4. 4 Mikrozonasi Frekuensi Natural Desa Kradinan	26
Gambar 4. 5 Perbukitan batu di area timur Desa Kradinan.....	28
Gambar 4. 6 Mikrozonasi Faktor Amplifikasi Desa Kradinan.....	30
Gambar 4. 7 Mikrozonasi Indeks Kerentanan Tanah Desa Kradinan	32
Gambar 4. 8 Mikrozonasi <i>Ground Shear Strain</i> Desa Kradinan.....	35
Gambar 4. 9 Mikrozonasi percepatan getaran minimum Desa Kradinan	37

DAFTAR TABEL

Tabel 2.2 Tabel Klasifikasi tanah berdasarkan Frekuensi Natural (Nogoshi and Igarashi, 1971)	12
Tabel 2.3 Hubungan nilai efektif pergesaran tanah akibat gempa bumi.....	14

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kabupaten Tulungagung, merupakan sebuah kabupaten yang terletak di pesisir selatan Pulau Jawa. Sisi selatan kabupaten ini merupakan jajaran pegunungan lintas selatan yang membentang dari Jawa Tengah hingga ujung Jawa Timur. Selain itu Tulungagung merupakan area diantara pegunungan selatan dan pegunungan Wilis kuno (Bemmelen, 1949). Sisi selatan maupun sisi utara area Tulungagung, didominasi dataran tinggi sehingga banyak ditemukan adanya lereng yang curam. Hal ini yang menyebabkan Tulungagung menjadi area yang rawan terjadi Tanah longsor.

Longsor adalah sebuah pergerakan kebawah dari tanah, batuan ataupun keduanya (Varnes, 1996). Penyebab longsor adalah aktivitas manusia, curah hujan, aktivitas vulkanik dan getaran gempa bumi (Sassa, 2009). Aktivitas getaran gempa bumi dan vulkanik tersebut dapat menyebabkan amplifikasi gelombang seismik dan frekuensi natural. Nilai dari amplifikasi serta frekuensi natural dipengaruhi oleh ketebalan lapisan sedimen yang berada diatas batuan dasar (bedrock).

Menurut Cara et al. (2009) kerusakan area pada saat gempa bumi atau aktivitas lain tergantung pada karakteristik area *event* tersebut yang berinteraksi dengan kondisi geologi wilayah tersebut. Untuk mitigasi bencana secara seismik metode mikrotremor mampu merepresentasikan kondisi tersebut melalui parameter frekuensi natural dan amplifikasi. Mikrotremor merekam data gelombang seismic tiga arah, yakni: selatan-utara (*south-north*), barat-timur (*east-west*) yang merupakan komponen horizontal serta satu komponen vertical yaitu atas-bawah (*up-down*). Beberapa kelebihan mikrotremor adalah biaya yang murah, pengambilan data yang memerlukan sumber daya manusia sedikit serta cepat.

Pada penelitian tugas akhir ini, metode HSRV yang telah diusulkan oleh Nakamura (1997a) digunakan. Metode HSRV

adalah metode perbandingan antara *spectrum rasio horizontal* terhadap *vertical* sehingga hasilnya akan memberikan nilai persebaran amplifikasi serta frekuensi natural pada daerah penelitian.

1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang dapat dirumuskan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana potensi longsor dapat diketahui dengan metode mikrotremor di Desa Kradinan, Kec Pagerwojo Tulungagung?
2. Bagaimana persebaran frekuensi natural dan amplifikasi serta indeks kerentanan tanah di Desa Kradinan, Kec Pagerwojo Tulungagung?

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui potensi longsor dengan metode mikrotremor
2. Mengetahui hubungan antara amplifikasi, frekuensi natural dan indeks kerentanan tanah pada lokasi penelitian

1.4 Manfaat Penelitian

Pada penelitian tugas akhir ini, manfaat yang didapat adalah persebaran nilai frekuensi natural, amplifikasi dan indeks kerentanan tanah di daerah penelitian tugas akhir yang kemudian dapat digunakan oleh warga sebagai pedoman dalam beraktifitas dan mitigasi bencana lebih lanjut

1.5 Sistematika Penulisan

Secara garis besar, penelitian pada penelitian Tugas Akhir ini ditulis dalam beberapa bagian sebagai berikut:

- BAB I: Pendahuluan, berisi latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat, serta sistematika penulisan.
- BAB II: Tinjauan Pustaka, berisi dasar teori dan landasan-landasan yang berkaitan dengan penelitian Tugas Akhir.

- BAB III: Metodologi yang meliputi peralatan dan *software* yang digunakan dan langkah-langkah penelitiannya.
- BAB IV: Analisa Data dan Pembahasan, berisi data-data hasil penelitian serta penjelasan mengenai hasil penelitian.
- BAB V: Penutup, berisi kesimpulan berdasarkan analisa yang telah dilakukan serta saran untuk penelitian yang lebih baik kedepannya

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian

Pegunungan Sewu merupakan dataran pegunungan yang membentang sebelah selatan pulau Jawa. Pegunungan sewu melewati beberapa kabupaten di pesisir selatan pulau Jawa. Salah satu kabupaten yang dilewati oleh pegunungan sewu adalah Tulungagung. Kabupaten Tulungagung merupakan sebuah kabupaten yang terletak di posisi $111^{\circ} 43' - 112^{\circ} 07'$ bujur timur dan $7^{\circ} 51' - 8^{\circ} 18'$ lintang selatan kabupaten ini berbatasan dengan beberapa kabupaten dan samudra hindia di sebelah selatan. Oleh sebab itu, tidak jarang di Tulungagung ditemukan tempat-tempat dengan ketinggian 500 mdpl serta mempunyai kemiringan tanah yang tinggi.

Menurut Bappeda Tulungagung (2013) sebesar 13.25% wilayah Tulungagung merupakan wilayah dengan kelerengan diatas 40° dan 19.98% wilayah mempunyai kelerengan 25- 40° salah satu area dengan ketinggian diatas 500 adalah Kecamatan Pagerwojo. Salah satu desa di Kecamatan Pagerwojo yang berpotensi tanah longsor adalah Desa Kradinan. Desa ini terletak di rata-rata ketinggian 600 mdpl.

Hartono (1992) menjelaskan bahwa wilayah Kradinan merupakan wilayah kaki pegunungan dengan dua formasi penyusun yaitu Formasi Mandalika yang terdiri dari andesit, dasit, breksi gunungapi dan batugamping dengan kristalin kelabu tua serta Formasi Morfoset Argokalangan yang merupakan formasi muda yang menutupi Formasi Mandalika. Formasi Morfoset Argokalangan merupakan material yang dikeluarkan Gunung Wilis purba saat erupsi sehingga batuan-batuan beku berukuran besar sering ditemukan di wilayah tersebut (Bemmelen, 1949). Wilayah ini menurut BPBD Tulungagung juga mempunyai potensi longsor sehingga dibentuk Tim Destana (Desa Tanggap Bencana).



Gambar 2.1 Salah satu lereng di Desa Kradinan, Tulungagung

Gambar 2.1 merupakan salah satu lereng yang berada di Desa Kradinan, Tulungagung pada puncak lereng tersebut terdapat batuan beku besar yang menandakan bahwa daerah tersebut masuk dalam formasi morfosit argohalangan dengan batuan breksi gunung api.

2.2 Pergerakan Tanah dan Longsor

Masswasting atau disebut longsor adalah proses dimana pergerakan dari tanah, batuan ke titik yang lebih rendah. Pergerakannya mungkin lambat atau bahkan tidak terlihat seperti tanah merangkak atau gerakannya mungkin dapat tiba-tiba seperti tanah longsor dan biasanya disebabkan oleh gaya gravitasi. Kusky (2008) menjelaskan bahwa pergerakan tanah pada batuan dasar yang keras sangat dipengaruhi oleh kondisi batuan dasar yang melemah. Melemahnya batuan dasar menyebabkan pergerakan tanah menjadi lebih mudah. Sebagai contoh, patahan dan sambungan geologi mungkin menjadi salah satu pemicu pergerakan tanah. Faktor lain yang mempengaruhi pergerakan tanah adalah adanya fluida, fluida berperan sebagai pengisi celah-

celah kosong diantara butiran tanah dan butiran-butiran tanah tersebut mempunyai kemampuan untuk menyimpan fluida. Akan tetapi apabila fluida tersebut telah melebihi ambang batas dan tanah menjadi tersaturasi, maka gaya ikat antara butiran-butiran tanah menjadi lemah dan terjadi pergerakan tanah.

Gaya penggerak yang menyebabkan proses ini juga dapat bertambah akibat faktor lain salah satunya adalah aktifitas manusia. Aktivitas penambangan atau pembangunan struktur seperti bendungan ataupun jembatan atau terowongan dapat mempengaruhi struktur dari permukaan tanah tersebut dan menghilangkan beberapa bagian dari geologi setempat sehingga struktur geologi pada daerah tersebut menjadi tidak stabil..

Salah satu jenis gerakan tanah yang lazim terjadi adalah longsor. De Blasio (2011) menyatakan bahwa gerakan tanah, batuan ataupun material geologi lain yang disebabkan oleh gaya gravitasi dan untuk membedakan longsor dengan gerakan tanah lain adalah nilai dari densitas yang bergerak haruslah 10% lebih besar dari densitas air. Longsor juga berkontribusi terhadap geomorfologi setempat. Ketika suatu lereng mendapat gaya angkat dari sesar, sungai atau erosi glacier gravitasi cenderung akan mendistribusikan massa batuan dan tanah.

2.3 Mikrotremor

Mikrotremor merupakan sebuah metode geofisika pasif yang merekam *Ambient Noise* atau getaran sekitar yang diakibatkan aktifitas alam atau aktifitas buatan manusia, dengan perekaman secara *real time* mikrotremor merupakan metode yang cukup mudah dan murah serta non destruktif, alat pengukur mikrotremor berupa sebuah sensor sederhana yang merekam *ambient noise* tiga arah yaitu dua arah horisontal, yakni: *east-west* dan *North-south* serta satu arah vertical (*up-down*).

Kerusakan pada suatu area pada saat gempa bumi ataupun aktivitas lain tergantung pada karakteristik dari kondisi area dan bangunan yang terkena dampaknya. Untuk pemeriksaan seismik kebencanaan, pengaruh tersebut biasanya direpresentasikan dengan frekuensi natural dan amplifikasi dari pergerakan tanah.

Dari beberapa metode yang telah dikembangkan seperti HVSR, *site-to-reference spectral ratios*, *array data analysis* banyak ahli yang menggunakan getaran dari *ambient noise* untuk mendapatkan parameter tersebut (Cara et al., 2009)

Getaran yang terjadi pada alam diklasifikasikan menjadi dua sumber yaitu sumber alam dan manusia, ketika nilai frekuensi tersebut rendah dan dibawah 1 Hz maka sumber mikrotremor adalah alam seperti gelombang laut mempunyai *ambient vibration* sebesar 0,2 Hz sementara interaksinya dengan pantai meningkat menjadi 0,5 Hz untuk gelombang paling rendah sekitar 0,1 Hz merupakan *ambient vibration* yang disebabkan oleh atmosfer atau aktifitas bumi lain (Bonneyoy-Claudet et al., 2006). Adapun nilai dengan frekuensi diatas 1,0 Hz ditimbulkan oleh angin dan aliran air dan aktifitas manusia seperti lalu lintas kendaraan, mesin dan kegiatan industri (SESAME, 2003). Tabel 2.1 menunjukkan klasifikasi sumber mikrotremor yang telah dibuat oleh Asten dan Henstridge (1984).

Tabel 2.1 Sumber Mikrotremor berdasarkan nilai frekuensinya (Asten and Henstridge, 1984)

Sumber	Menurut Gutenberg	Menurut Asten
Gelombang Laut	0,05-0,1 Hz	0,5-1,2 Hz
Gangguan Meterologi dengan skala besar	0,1-0,25 Hz	0,16-0,5 Hz
Badai siklon di sepanjang laut	0,3-1Hz	-
Tremor Vulkanik	2-10 Hz	-
Kepadatan Penduduk	1-100 Hz	1,1-30 Hz

Seperti yang telah disebutkan bahwa mikrotremor merekam *ambient noise* tiga arah dan merekam terjadinya amplifikasi atau penguatan gelombang tersebut, amplifikasi terhadap komponen horizontal dipengaruhi oleh komponen vertical dan juga kondisi tanah pada area yang sedang diukur. Nakamura (2008) menjelaskan bahwa pada komponen vertical di mikrotremor tidak terjadi amplifikasi.

Frekuensi natural yang didapatkan pada pengukuran mikrotremor sangat berhubungan erat dengan ketebalan sedimen. Seht and Wohlenberg (1999) menyatakan bahwa sebuah model dua lapisan sederhana yang terdiri dari sebuah batuan dasar dan sebuah sedimen dan berada di atasnya serta mempunyai lapisan m serta kecepatan gelombang geser v_s dinyatakan dengan persamaan

$$f_r = \frac{v_s}{4h} \quad (2.1)$$

dengan f_r sebagai frekuensi natural dan V_s menyatakan kecepatan gelombang geser dan h menunjukkan tebal lapisan sedimen. Dari persamaan tersebut, didapat bahwa semakin tebal sedimen maka frekuensi yang didapatkan semakin kecil dan sebaliknya.

2.4 Metode Pengolahan Sinyal

2.4.1 Discrete Fourier Transform

Transformasi Fourier Diskrit adalah sebuah metode matematika yang berhubungan dengan pengolahan sinyal. Transformasi ini memungkinkan untuk merubah domain waktu (t) menjadi domain frekuensi (f) menjadi dasar utama sebuah pemroses sinyal pada berbagai bidang. DFT (*Discrete Fourier Transform*) juga membuat hubungan antara representasi domain waktu dengan domain frekuensi sehingga DFT dapat digunakan untuk menganalisa frekuensi dalam domain waktu (Tan, 2008) persamaan DFT secara umum dapat didefinisikan dengan

$$c_k = \frac{1}{T_0} \int_{T_0}^0 x(t) e^{-jk\omega_0 t} dt \quad (2.2)$$

Dengan k adalah indeks frekuensi dimulai dari 0,1,2... dan menyatakan komponen harmonik dan dengan mengubah notasi integral nya yaitu mensubstitusikan $T_0=NT$ dan $\omega_0 = 2\pi / T_0$ serta nilai perkiraan dengan mengubah $dt=T$ dan $t=nT$ sehingga persamaan menjadi

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{\frac{-j2\pi kn}{N}} \quad (2.3)$$

Setelah melalui substitusi tersebut maka nilai $n=0,1,2,\dots,N-1$ adalah domain waktu. Akan tetapi, algoritma tersebut dikembangkan menjadi lebih efisien dan cepat serta tanpa mengubah isi persamaan. Pengembangan lebih lanjut disebut dengan *Fast Fourier Transform* (Tan, 2008).

2.4.2 Fast Fourier Transform

Fast Fourier transform (FFT) adalah sebuah algoritma efisien untuk menghitung koefisien DFT dan mereduksi perhitungan yang kompleks tanpa menghilangkan kualitas ataupun akurasi dari hasil perhitungan tersebut. FFT dibagi menjadi dua bagian yaitu FFT *decimation in time* dan FFT *decimation in frequency*. Untuk persamaan *decimation in frequency* adalah sebagai berikut:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W_N^{kn}, k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.4)$$

Dengan $W_N = e^{-j\frac{2\pi}{N}}$ adalah *twiddle* faktor dengan nilai $N=2^1, 2^2, 2^3, \dots, 2^m$, dengan m merupakan bilangan integer (Tan, 2008).

2.5 Horizontal to Vertical Spectral Ratio

Salah satu metode analisa data mikrotremor yang lazim digunakan adalah HVSR. Sungkono (2012) menyatakan bahwa karakterisasi kurva HVSR memerlukan data kondisi geologi lokal, hal ini bertujuan untuk interpretasi mikrozonasi secara tepat dan mengetahui parameter bawah tanah kurva HVSR tersebut, parameter-parameter yang lazim ditemukan pada kurva HVSR adalah amplifikasi dan frekuensi natural (Herak, 2008). Dalam penentuan kurva HVSR perlu diketahui model gelombang HVSR terlebih dahulu karena masih terdapat perbedaan (Dal Moro, 2011).

Secara alamiah, getaran dari tanah keras seragam dalam hal *range* frekuensi dan arah. Akan tetapi, pada kasus adanya sebuah tanah keras dan di atasnya terdapat tanah yang lebih lunak maka akan terjadi amplifikasi. Energi yang terjebak karena perbedaan lapisan tersebut adalah penyebab utama terjadinya amplifikasi. Faktor amplifikasi pada mikrotremor dapat dibedakan menjadi

faktor amplifikasi vertikal dan faktor amplifikasi horisontal. Dengan faktor amplifikasi horisontal dapat dinyatakan oleh:

$$T_H = \frac{A_{hs}}{A_{hb}} \quad (2.5)$$

dengan T_H sebagai faktor amplifikasi dan A_{hs} sebagai spektrum komponen batuan sedimen dan A_{hb} sebagai spektrum komponen batuan dasar. Selanjutnya, komponen amplifikasi vertikal dapat dideskripsikan oleh:

$$T_v = \frac{A_{vs}}{A_{vb}} \quad (2.6)$$

dengan T_v sebagai faktor amplifikasi dan A_{vs} sebagai spektrum komponen batuan sedimen dan A_{vb} sebagai spektrum komponen batuan dasar.

Dengan menggunakan Persamaan (2.3) dan (2.4), maka faktor amplifikasi untuk komponen H/V dapat dinyatakan sebagai:

$$A_m = [A_{hs} / A_{vs}] / [A_{hb} / A_{vb}] \quad (2.7)$$

dengan asumsi bahwa rasio dari A_{hb} dibagi A_{vb} adalah satu untuk frekuensi yang lebih lebar, serta efek dari amplifikasi gelombang Rayleigh diabaikan. Dengan demikian, Persamaan (2.7) dapat ditulis sebagaimana berikut:

$$A_m = [A_{hs} / A_{vs}] \quad (2.8)$$

Dengan demikian, dapat diasumsikan bahwa amplifikasi hanya dipengaruhi oleh pada struktur geologi lokal (bedrock dan sedimen). Selanjutnya, sebab komponen vertikal dibagi menjadi dua komponen, maka HVSr dapat dinyatakan sebagaimana berikut:

$$HVSr(f) = \frac{(H_{SN}(f) + H_{WE}(f))}{2V(f)} \quad (2.9)$$

dengan H_{SN} adalah spektrum komponen utara-selatan dan H_{WE} menyatakan spektrum komponen horizontal barat timur, V adalah spektrum komponen vertikal.

2.6 Frekuensi Natural dan Amplifikasi

Parameter-parameter pada kurva HVSR yang telah disebutkan sebelumnya, yaitu frekuensi natural dan amplifikasi merupakan parameter yang krusial untuk menentukan perhitungan-perhitungan parameter selanjutnya. Menurut Sungkono (2012), frekuensi natural merupakan nilai yang didapat dari puncak kurva HVSR dan dalam hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain ketebalan lapisan, kecepatan gelombang badan, kecepatan gelombang permukaan dan densitas.

Nogoshi and Igarashi (1971) mengklasifikasikan respon frekuensi natural untuk beberapa jenis tanah. Tabel 2.2 menjelaskan bahwa nilai frekuensi natural rendah merupakan tanah sedimen yang lunak dan umumnya nilai frekuensi natural tinggi merupakan batuan dan tanah yang keras.

Parameter selanjutnya adalah Amplifikasi. Partono et al. (2015) menyatakan bahwa faktor amplifikasi merupakan gambaran tentang perubahan percepatan pergerakan tanah dari batuan dasar ke batuan sedimen. Menurut Sungkono (2012) perbedaan kecepatan gelombang geser (V_s) menyebabkan nilai amplifikasi berubah. Sehingga perubahan kecepatan gelombang geser tersebut akan mempengaruhi nilai modulus geser (G_s) dan faktor redaman (μ) yang dapat menyebabkan percepatan tanah akan semakin membesar.

Nakamura (1997a) menyatakan bahwa kontras impedansi yang disebabkan oleh perbedaan secara kontras batuan dasar dan batuan sedimen akan menyebabkan area tersebut menjadi rentan ketika terkena gempa bumi. Ngadmanto et al., (2013) menyatakan bahwa variasi nilai amplifikasi tidak berpengaruh terhadap ketebalan akan tetapi parameter modulus geser, damping rasio dan saturasi lapisan sedimen mempengaruhi nilai amplifikasi. Sehingga, nilai amplifikasi sangat bergantung dengan kondisi geologi daerah setempat.

Tabel 2.2 Tabel Klasifikasi tanah berdasarkan Frekuensi Natural (Nogoshi and Igarashi, 1971)

Deskripsi	Frekuensi (Hz)	Jenis
Batuan keras yang tersusun dari <i>gravel</i> (kerikil), pasir, dan tanah yang lain, terutama terdiri dari lapisan tanah yang tua	7 – 10	1
Kerikil berpasir, <i>clay</i> (tanah liat) keras berpasir, lempung, endapan aluvial berpasir yang kedalamannya 5m atau lebih	4,5 – 7	2
Tanah biasa selain jenis 1, 2, dan 4	2 – 4,5	3
Aluvium lunak dari tanah delta sedalam 20m atau lebih. Tanah reklamasi dari bekas rawa-rawa atau <i>shoal</i> (bagian laut dangkal) yang tanahnya sedalam 2m atau lebih dan telah berusia 20 tahun setelah direklamasi	0,1 – 2	4

2.7 Hubungan Indeks Kerentanan Seismik dan Kuat Geser Tanah

Sebuah nilai yang menyatakan kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi pada permukaan dan struktur bangunan telah dinyatakan oleh Nakamura (1997b) nilai itu juga menyatakan kemampuan suatu material dalam tanah untuk saling meregang dan bergeser jika dikenai gaya yang diakibatkan oleh gempa bumi atau aktifitas lain.

Nakamura (2008) juga menjelaskan bahwa nilai tegangan geser dari tanah tersebut berhubungan dengan indeks kerentanan seismik. Menurutnya, indeks kerentanan seismik dapat dinyatakan dengan parameter-parameter yang dihasilkan oleh analisa HVSR dengan persamaan sebagai berikut:

$$Kg = \frac{A_0^2}{F_0} \quad (2.10)$$

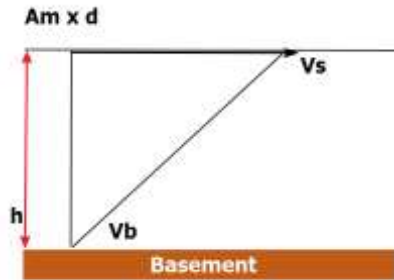
Indeks kerentanan tanah seismik menyatakan bahwa ketika amplifikasi semakin besar dan frekuensi natural semakin kecil,

maka kerentanan tanah akan semakin besar. Begitu sebaliknya ketika amplifikasi kecil dan frekuensi natural semakin besar maka kerentanan tanah akan semakin kecil.

Nilai pergeseran tanah (γ) dan kerentanan tanah (K_g) saling berkaitan. Hal ini dapat dilihat dari Tabel 2.3 yang menunjukkan hubungan antara nilai pergeseran tanah (γ) dan kondisi setelah terjadinya gempa bumi. Tabel 2.3 menunjukkan bahwa nilai pergeseran tanah dengan nilai diatas 10.000×10^{-6} menunjukkan suatu deformasi, longsor ataupun liquifaksi yang cukup besar. Penggambaran pergeseran tanah secara umum ditunjukkan pada Gambar 2.2.

Tabel 2.3 Hubungan nilai efektif pergeseran tanah akibat gempa bumi

Nilai Pergeseran Tanah (γ)	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
Fenomena	Gelombang, Getaran		Retak, Penurunan tanah		Tanah Longsor, Penurunan Tanah, Liquifaksi	
Sifat Dinamis	Elastis		Plastis-Elastis		Keruntuhan	
Efek Berulang – Efek Kelajuan						



Gambar 2.2 Tegangan permukaan tanah

Pendekatan deformasi tanah dapat dideskripsikan sebagai berikut:

$$\gamma = A_g \cdot \frac{d}{h} \quad (2.11)$$

Dengan A_g adalah amplifikasi dari lapisan permukaan dan h merupakan ketebalan lapisan permukaan dan d mengindikasikan perpindahan seismik. Ketika struktur tersebut dikenai oleh gelombang S dari batuan dasar dengan persamaan

$$F_g = \frac{V_b}{4A_g \cdot h} \quad (2.12)$$

Selanjutnya, percepatan gelombang yang terjadi di batuan dasar dapat dinyatakan dengan persamaan menurut (Nakamura, 2008) adalah

$$a_g = (2\pi F_0)^2 \cdot d \quad (2.13)$$

Hubungan antara Persamaan (2.11)–(2.13) dapat dinyatakan oleh:

$$\begin{aligned} \gamma &= \left(\frac{A_m \cdot \alpha_b}{(2\pi f_0)^2} \right) \cdot (4A_m \cdot f_0 / V_b) \\ &= \left(\frac{A_m^2}{f_0} \right) \cdot \left(\frac{\alpha}{\pi^2 V_b} \right) \end{aligned} \quad (2.14)$$

Ketika gaya seismik diaplikasikan secara eksponensial maka nilai pergeseran tanah (γ) menjadi:

$$\begin{aligned} \gamma_e &= K_g(e) \cdot \alpha_b \\ K_g(e) &= e \cdot \left(\frac{A_m^2}{f_0} \right) / (\pi^2 V_b) / 100 \end{aligned} \quad (2.15)$$

Persamaan (2.15) menunjukkan bahwa indeks kerentanan tanah berhubungan dengan nilai pergeseran tanah adapun nilai kecepatan dasar bumi dianggap konstan sehingga hubungan akhir dari pergeseran tanah dan indeks kerentanan tanah adalah

$$\gamma = K_g \cdot \alpha \quad (2.16)$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Peralatan dan Bahan

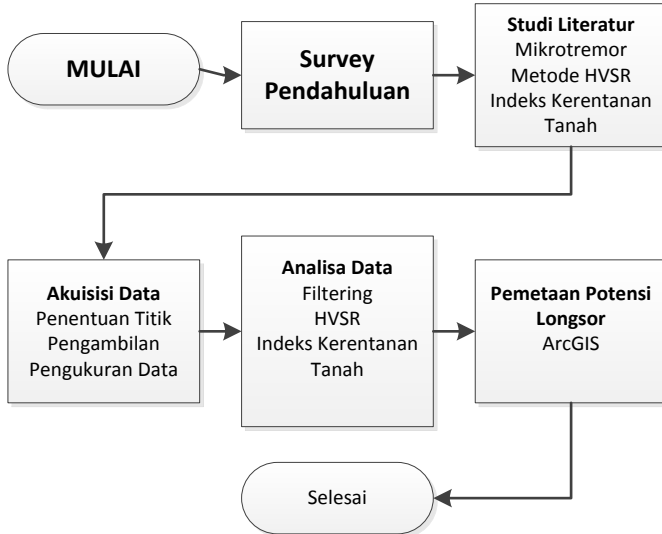
Pengambilan data mikrotremor membutuhkan alat dan bahan seperti pada Gambar 3.1, yaitu: seperangkat alat mikrotremor tipe SARA SL06 24 bit (*portable triaxial broadband seismograph*) yang terdiri dari sensor mikrotremor untuk merekam percepatan getaran tanah dengan interface yang telah disesuaikan, GPS receiver dan sebuah aki kering 12V, GPS tipe garmin G40S untuk mencatat titik koordinat, kompas untuk menentukan arah dalam pengukuran dan peta geologi sebagai referensi dalam pengukuran penentuan lokasi serta multimeter untuk memeriksa beda potensial pada aki.



Gambar 3. 1 Alat-alat yang dibutuhkan untuk penelitian tugas akhir: (a) alat mikrotremor, (b) multimeter, (c) GPS, (d) aki 12 volt, dan (e) kompas.

3.2 Tahapan Penelitian

Penelitian tugas akhir ini terdiri dari tahapan-tahapan sebagaimana pada Gambar 3.2. Tahapan ini dapat dijabarkan sebagaimana berikut:



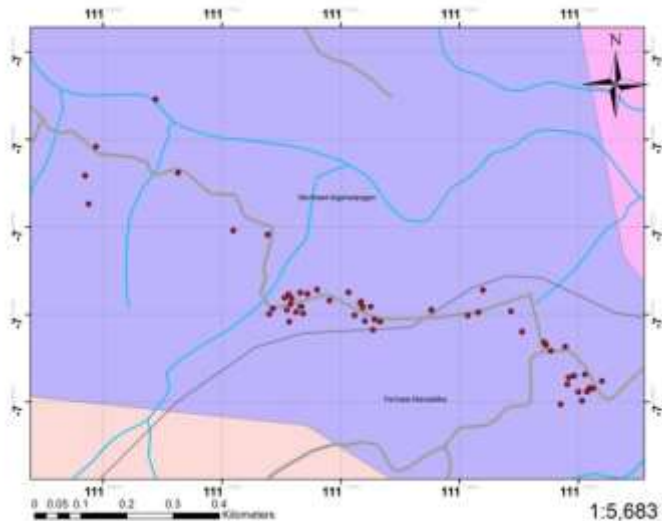
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

1. Studi Literatur

Pada tahap awal ini, semua literatur, yang mempelajari konsep-konsep mikrotremor dan metode HVSR serta penentuan kecepatan gelombang geser dan parameter-parameter yang menentukan kecepatan gelombang geser tersebut dari data mikrotremor, dipelajari dan dipahami.

2. Survey Pendahuluan

Survei awal merupakan tahap dimana lokasi dan titik pengukuran ditentukan. Pada tahap ini, lokasi yang dipilih berada di Jalan Raya Pagerwojo sebanyak 54 titik pengukuran. Adapun lokasi pengambilan data sesuai dengan Gambar 3.2.



Gambar 3. 3 Lokasi dan Titik Pengambilan Data

3. Akuisisi data mikrotremor

Akuisisi data mikrotremor dilakukan menggunakan alat alat yang telah dijelaskan pada Gambar 3.1, di Desa Kradinan Kecamatan Pagerwojo, Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur. Lama waktu pengambilan setiap titik ialah 30 menit dan berjumlah sebanyak 54 data, akuisisi dilakukan dengan cara meletakkan mikrotremor pada permukaan tanah yang datar. Untuk memeriksa apakah kondisi tanah tersebut telah datar atau belum digunakan *waterpass*. Frekuensi sampling diatur sebesar 100 Hz. Data yang telah terekam tersebut akan tersimpan dalam kartu *memory* yang berada pada alat.

4. Pengunduhan Data

Pengunduhan data dilakukan dengan cara menyambungkan komputer dengan mikrotremor menggunakan koneksi RJ45, pada mikrotremor telah disediakan sebuah *web interface* sehingga pengambilan data dapat dipermudah dengan mengambil data sesuai dengan waktu yang tercatat di alat tersebut.

5. Seleksi Data

Data tiga komponen yang telah diekspor, kemudian di seleksi dengan menghilangkan *window* yang mengandung *noise* secara manual. Seleksi data disesuaikan dengan gelombang yang didapat dari pengukuran, sehingga efek *noise* pada hasil pemrosesan data dapat diminimalisir.

6. Filtering dan Smoothing

Setelah *windowing* atau seleksi data dilakukan, FFT diaplikasikan untuk mengubah domain waktu ke domain frekuensi dari setiap *windowing*. Data domain frekuensi difilter menggunakan *bandpass filter* untuk mendapatkan data yang sesuai pada rentang frekuensi tertentu. Setelah itu, hasil filter dilakukan *smoothing*. Terdapat beberapa metode *smoothing* antara lain: *Moving average*, *Konno–Ohmachi*, *Triangular proportional*, *Hanning window*, dan *triangular constant*. Pada penelitian tugas akhir ini, *smoothing* Konno dan Ohmachi (1971) digunakan untuk menghaluskan data dalam domain frekuensi. *Smoothing* Konno dan Ohmachi (1971) dapat ditulis sebagai berikut:

$$W_p = \frac{\sin[\log_{10}(\frac{f}{f_0})^b]}{\sin[\log_{10}(\frac{f}{f_0})^4]} \quad (3.1)$$

dengan $W_p(f)$ merupakan fungsi pembobotan, f menunjukkan frekuensi, f_0 menunjukkan frekuensi yang dihaluskan dan b merupakan koefisien *bandwidth*. Persamaan *length window* yang sesuai dengan rekomendasi SESAME (2003) adalah sebagai berikut:

$$l = \frac{10}{f_0} \quad (3.2)$$

7. Kurva H/V

Perhitungan H/V dilakukan setelah proses *smoothing*. Setiap *windowing* dilakukan perhitungan H/V sebagaimana Persamaan (2.9). Setelah itu, rata-rata perhitungan H/V dan ketidakpastinanya dihitung. Estimasi kurva H/V digunakan software Geopsy yang secara otomatis memberikan kurva H/V.

8. Pemetaan Potensi Tanah Longsor

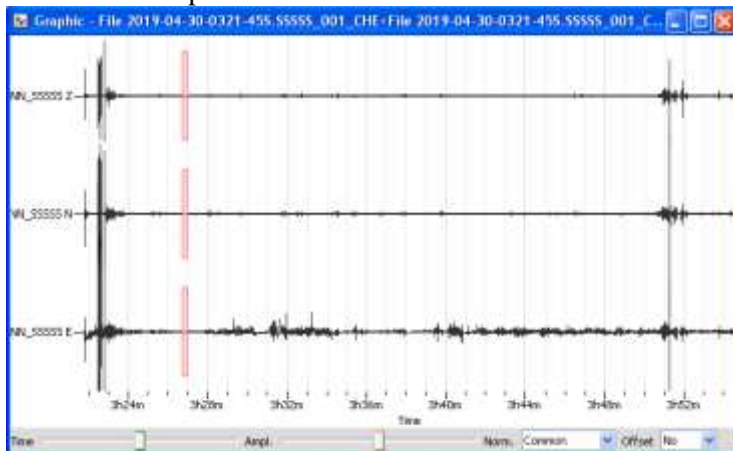
Setelah kurva HVSR ditentukan, beberapa parameter seperti amplifikasi, frekuensi natural dan indeks kerentanan tanah dapat dipetakan. Upaya mikrozonasi dengan menggunakan data-data tersebut dapat dilakukan melalui perangkat lunak *Geographical Information System* (GIS).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

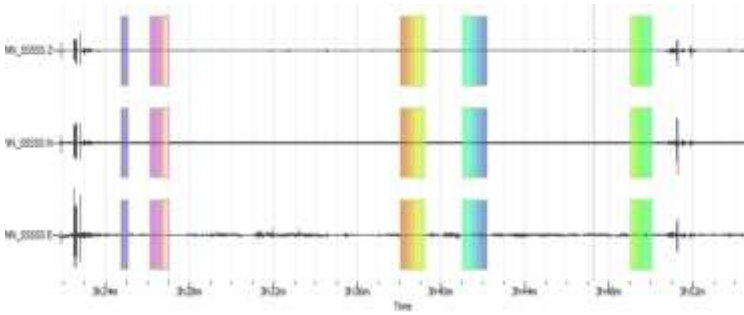
Pengukuran mikrotremor menghasilkan data perekaman percepatan tiga komponen, yakni: *east-west*, *north-south* dan *up-down*. Data tersebut direkam dengan durasi 30 menit dan memiliki nama masing-masing NN_SSSSS Z untuk data vertikal, NN_SSSSS E untuk data komponen *east-west* dan NN_SSSSS N untuk data komponen *north-south*.



Gambar 4. 1 Data Pengukuran Pada titik 1

Gambar 4.1 merupakan contoh data pengukuran mikrotremor. Data yang terukur, selanjutnya dinalisa melalui seleksi data dengan cara *windowing*. Menurut SESAME (2003), pada *windowing* data, durasi pengukuran haruslah lebih dari atau sama dengan 1000 detik atau kurang lebih 17 menit. Jumlah *Window* yang dipilih minimal 10 *window* dengan durasi per-*window*-nya antara 5–10 detik. *Window* yang dipilih umumnya tidak memiliki *trigger* atau pemicu agar data yang dipilih berupa data yang bebas *noise*. Selain itu, pada *windowing* juga dipilih parameter *overlap* sebesar 5% dan juga dipilih rentang frekuensi sebesar 0,5–15 Hz

untuk proses *bandpass filter* Pada pemilihan *filter* ini, biasanya disesuaikan dengan kondisi geologi dan kondisi sumber noise disekitar data pengukuran.

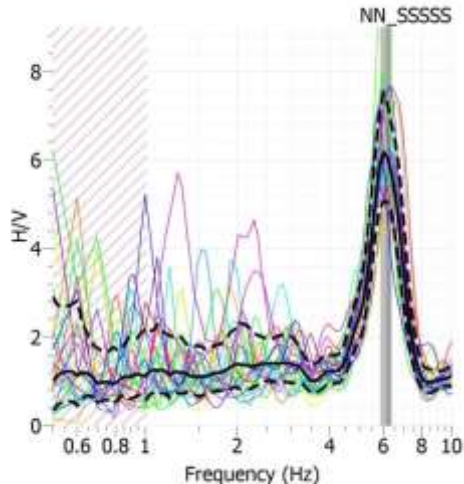


Gambar 4. 2 Proses *Windowing* Data pada titik 1

Gambar 4.2 merupakan proses *windowing* yang dilakukan dengan memilih *window* sebanyak 26 pada data yang stasioner. Setelah proses *windowing* dilakukan, untuk mendapatkan nilai HVSR dilakukan penghitungan FFT yaitu mengubah domain waktu ke domain frekuensi, dan proses *bandpass filter*, sebagaimana yang telah dideskripsikan pada paragraph sebelumnya. Selanjutnya, sinyal domain frekuensi dihaluskan dengan metode yang telah diusulkan oleh Konno and Ohmachi (1998) dengan *konstanta* sebesar 40. Pada tahap akhir, perhitungan H/V dilakukan, dalam hal ini penggabungan komponen horisontal dilakukan dengan menggunakan teorema Pythagoras. Selanjutnya, rata-rata dan standard deviasi dari rasio H/V digunakan untuk menentukan parameter amplifikasi dan frekuensi natural, beserta reliabilitas dari masing-masing parameter tersebut.

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa kurva HVSR dapat merepresentasikan nilai frekuensi natural dan amplifikasi. Pada kurva tersebut menunjukkan bahwa puncak kurva menunjukkan nilai amplifikasi untuk sumbu y dan frekuensi natural untuk

sumbu x. Berdasarkan Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa nilai frekuensi natural sebesar 5,97 dan amplifikasi bernilai 6,1.



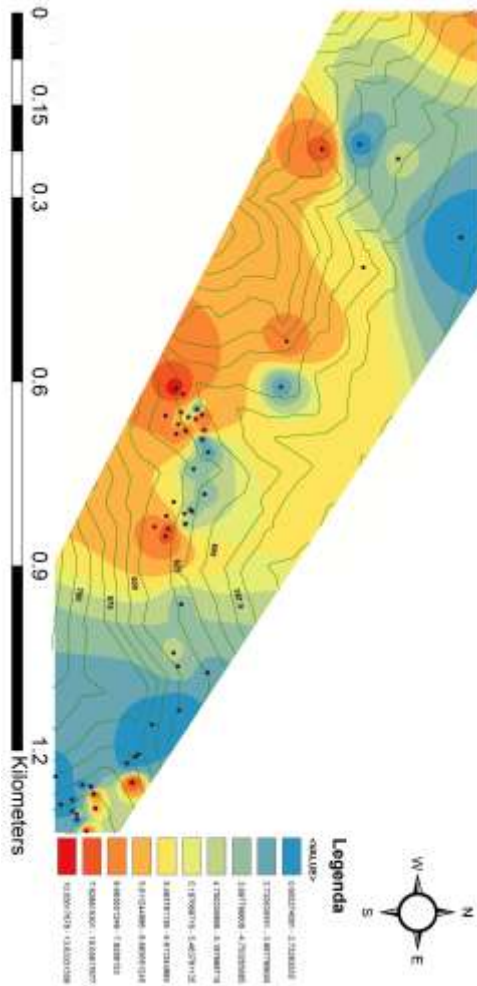
Gambar 4. 3 Kurva HVSR pada titik 1

4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisa Frekuensi Natural

Frekuensi natural yang didapat dari kurva HVSR, selanjutnya dibuat peta menggunakan perangkat lunak GIS (*Geographical Information System*) sebagaimana Gambar 4.3. Gambar ini menunjukkan bahwa Desa Kradinan mempunyai variasi frekuensi dari 0,6–9,6 Hz. Secara umum, besarnya frekuensi dipengaruhi oleh ketebalan sedimen dan kecepatan gelombang geser sedimen tersebut (Persamaan 2.1). Menurut Sungkono (2012), sedimen yang tebal menyebabkan jarak tempuh gelombang untuk mencapai 1 periode lebih lama. Karena frekuensi berbanding terbalik dengan periode, maka pada periode gelombang yang besar memiliki nilai frekuensi rendah. Hal ini juga terjadi ketika sedimen tipis, periode gelombang menjadi lebih kecil, sehingga

frekuensi yang dihasilkan juga menjadi lebih besar (Towhata, 2008).



Gambar 4. 4 Mikrozonasi Frekuensi Natural Desa Kradinan

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa Desa Kradinan terbagi menjadi 2 area, yaitu: area dengan frekuensi tinggi (di sebelah selatan) dan area dengan frekuensi rendah hingga sedang (area utara). Ini disebabkan oleh Desa Kradinan berada pada ketinggian kurang lebih 650 meter dengan kontur yang membentuk cekungan (Hartono, 1992). Kradinan sendiri terletak pada sisi kiri cekungan tersebut. Formasi Morfoset Argohalangan juga merupakan sebuah formasi geologi muda yang terdiri dari breksi gunung api dan lava bersifat andesit yang masih muda dari formasi yang lain. Sehingga, kemungkinan lapisan geologi tersebut belum mengalami pelapukan sempurna dan batuan-batuan tersebut berada pada kedalaman yang dangkal. Artinya, lapisan antara batuan dasar dan sedimen sebelah kiri Desa Kradinan cenderung memiliki ketebalan yang tipis.

Pada sebelah kanan Desa Kradinan, nilai frekuensi natural berkisar antara 0,60–5,11 Hz. Area tersebut merupakan area landai dengan jalan penghubung utama Desa Kradinan. Pada area tersebut juga terdapat pemukiman warga dan pusat pemerintahan Desa Kradinan. Nilai frekuensi rendah disebabkan karena formasi batuan yang didominasi breksi gunungapi dan aglomerat. Menurut McPhie (1993), aglomerat adalah sebuah batuan yang mudah lapuk yang dihasilkan dari jatuhnya gunung api yang bersifat piroklastik berumur muda (*Juvenile Pyroclastics*) dengan tekstur kasar (diatas 64 mm) perbutirnya sehingga mudah terjadi pelapukan. Hasil pelapukan tersebut membentuk sedimen dan semakin menebal dan menyebabkan nilai frekuensi rendah. Nogoshi and Igarashi (1971) menyatakan nilai frekuensi natural sedang berkisar antara 0,60–5,11 Hz masuk kedalam klasifikasi tanah biasa dan kerikil berpasir serta endapan alluvial berpasir. Tanah-tanah ini diduga sebagai hasil pelapukan dari breksi gunung api dan aglomerat.

Frekuensi natural sisi kiri Desa Kradinan didominasi dengan nilai dari 5,11–9,6 Hz yang kemungkinan disebabkan oleh singkapan batuan andesit pada bukit bagian atas sebagai akibat dari pelapukan yang belum sempurna dari Morfoset

Argohalangan yang menyebabkan tebal sedimennya metipis. Towhata (2008) menyatakan bahwa area dengan topografi tinggi (perbukitan) cenderung mempunyai frekuensi yang tinggi, hal ini sesuai dengan kondisi Desa Kradinan bagian kiri yang merupakan area perbukitan dengan lereng yang curam.

Gambar 4.4 yang menunjukkan bahwa daerah Kradinan mempunyai topografi beragam dengan topografi tertinggi di sebelah kiri dan menurun bertahap ke kanan yang berasosiasi dengan nilai frekuensi natural yang semakin rendah dari kiri ke kanan, karena diasumsikan sedimen semakin tebal apabila topografi menurun. Sehingga dapat diketahui bahwa semakin rendah topografi di Desa Kradinan maka semakin rendah pula nilai frekuensi naturalnya.



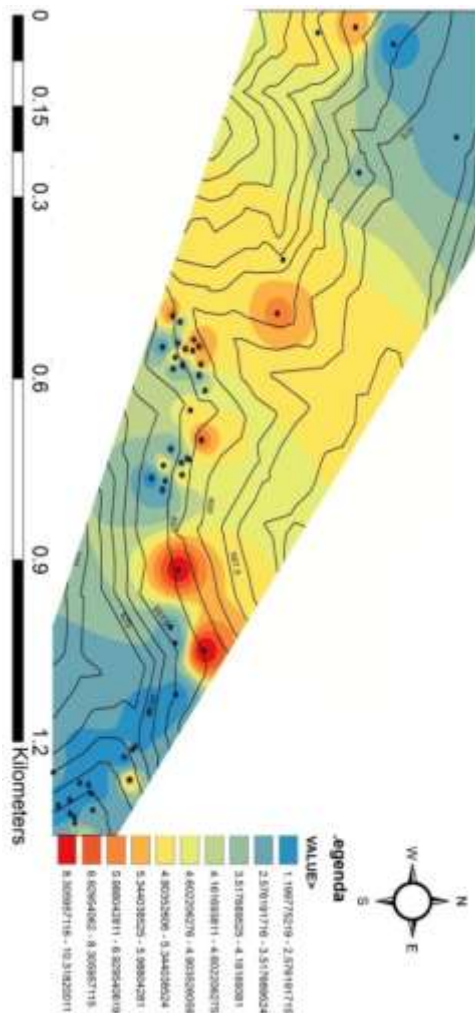
Gambar 4. 5 Perbukitan batu di area timur Desa Kradinan

Di sebelah timur Desa Kradinan, tepatnya di perbatasan antara Desa Kradinan dengan Desa Samar, terdapat anomali adanya frekuensi tinggi di beberapa titik di area tersebut. Hal ini dijelaskan pada Gambar 4.5 yang menunjukkan bahwa lokasi bukit yang tersusun dari batuan-batuan yang menyebabkan frekuensi yang terukur sangat besar. Oleh karena itu, *bedrock* pada area ini diduga sangat dangkal dan kondisi geologi yang didominasi batuan andesit pegunungan yang diduga belum terjadi pelapukan.

4.2.2 Analisa Amplifikasi

Pada kurva HVSR, faktor lain yang dapat dianalisa adalah amplifikasi. Nakamura (1989) menunjukkan bahwa kurva HVSR dari pergerakan yang disebabkan oleh gempa bumi hampir sama dengan kurva HVSR yang dilakukan pada pengukuran mikrotremor. Amplifikasi dipengaruhi oleh faktor impedansi antara batuan dasar dengan batuan sedimen, ketika impedansi batuan dasar (*bedrock*) lebih tinggi dari pada batuan sedimen maka amplifikasi akan terjadi. Apabila nilai amplifikasi semakin besar maka rasio impedansi antara batuan dasar dan batuan sedimen menjadi lebih kecil (Towhata, 2008).

Gambar 4.6 menunjukkan peta persebaran nilai amplifikasi Desa Kradinan. Desa Kradinan memiliki nilai amplifikasi dari rentang 1,19–10,29. Sama halnya dengan hasil analisa frekuensi natural, faktor amplifikasi di Desa Kradinan juga terbagi menjadi dua bagian, yaitu: di sisi kiri dan kanan Desa Kradinan. Pada sisi kanan Kradinan, nilai amplifikasi natural cenderung tinggi. Hal ini sesuai dengan kondisi geologi sebelah kanan Desa Kradinan yang didominasi oleh hasil pelapukan dari breksi gunung api dan aglomerat yang telah bercampur dengan alluvium sehingga menyebabkan kontras impedansi yang besar.



Gambar 4. 6 Mikrozonasi Faktor Amplifikasi Desa Kradian

Selanjutnya, nilai amplifikasi sebelah kiri Desa Kradian bervariasi, yakni dari rendah hingga tinggi. Tiga titik pengukuran di sebelah barat Desa Kradian yang secara berurutan membentuk

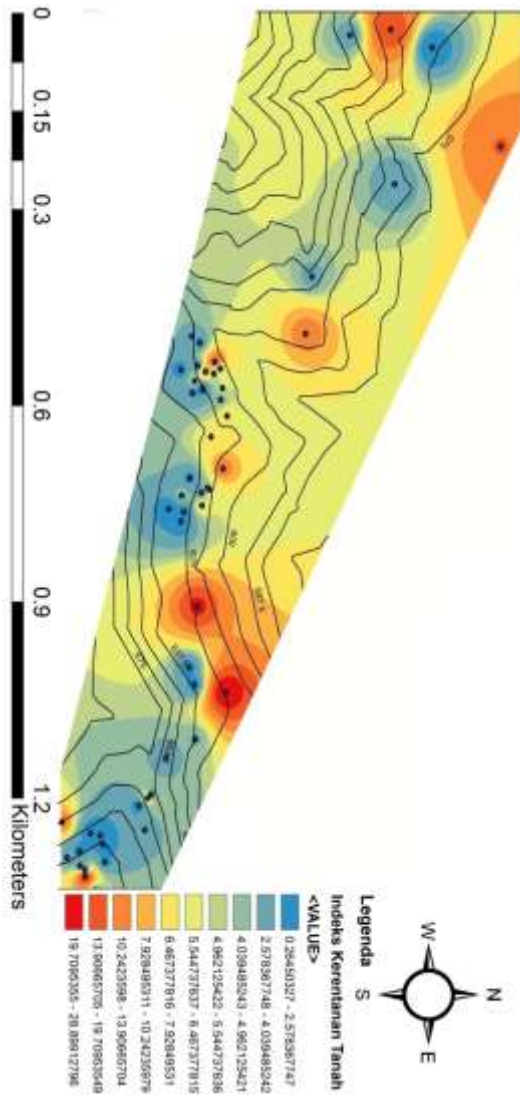
garis lurus merupakan area perbukitan yang dipasang *Early Warning System Extensometer* (EWSE) untuk mendeteksi pergerakan yang disebabkan pergerakan tanah. Gambar 4.6 menunjukkan bahwa area tersebut memiliki nilai faktor amplifikasi beragam dengan amplifikasi tertinggi berada di tengah bukit (tempat alat EWSE). Dengan demikian, nilai amplifikasi tinggi berkorelasi dengan daerah rawan longsor.

Pada sebelah timur Desa Kradinan, amplifikasi cenderung kecil dengan rentang 1,19–2,72 yang diduga disebabkan oleh kondisi geologi setempat yang tersusun atas batuan keras andesit tua (Formasi Mandalika). Hal ini diperkuat oleh Hartono (1992) yang menyatakan bahwa Kradinan merupakan desa dekat dengan pertemuan antara dua formasi yaitu Morfoset Argokalangan dan Formasi Mandalika.

Akan tetapi hasil amplifikasi tersebut tidak terpengaruh dengan frekuensi natural. Hal ini sesuai dengan Partono (2013) dan Sungkono (2012) yang menyatakan bahwa nilai amplifikasi tidak bergantung pada ketebalan sedimen lapisan, namun tergantung pada beberapa faktor seperti kecepatan gelombang geser (V_s) dan faktor redaman (μ) serta modulus geser (G_s) yang akan menyebabkan kontras impedansi antara lapisan batuan dasar dan sedimen

4.2.3 Analisa Indeks Kerentanan Tanah

Salah satu parameter yang lazim digunakan untuk mikrozonasi adalah indek kerentanan tanah. Nakamura (1997b) menyatakan bahwa indek kerentanan tanah adalah suatu ketahanan (*durability*) dari tanah ketika diberi gaya seismik atau getaran. Tingkat kerusakan tidak hanya disebabkan oleh kekuatan dan durasi dari gempa tersebut, tetapi juga disebabkan oleh karakteristik tanah dan struktur pada area yang terdampak.



Gambar 4. 7 Mikrozonasi Indeks Kerentanan Tanah Desa Kradinan

Gambar 4.7 menunjukkan Desa Kradinan mempunyai nilai indeks kerentanan tanah sebesar 0,264–28,899 (10^{-6}). Indeks kerentanan yang tersebar di sisi kanan cenderung tinggi. Hal ini telah dijelaskan sebelumnya, bahwa frekuensi natural yang berada pada sisi kanan Desa Kradinan cenderung kecil sehingga diduga lapisan sedimen pada sisi tersebut cenderung tebal. Faktor amplifikasi pada bagian ini juga bernilai besar. Sedangkan, pada sisi kiri Desa Kradinan, nilai indeks kerentanan tanah cenderung kecil (meskipun beberapa titik memiliki nilai yang besar) yang didominasi oleh nilai 0,26–5,54. Indeks kerentanan rendah ini diduga disebabkan oleh lapisan sedimen yang dangkal.

Hal utama yang menyebabkan nilai indeks kerentanan tanah bervariasi di Desa Kradinan adalah struktur geologinya. Desa Kradinan berada di Formasi Mandalika dan Formasi Morfoset Argohalangan. Formasi Mandalika ini didominasi oleh batuan breksi, andesit, aglomerat dan tuf, sedangkan Formasi Morfoset Argohalangan merupakan formasi muda yang terjadi akibat meletusnya gunung api wilis purba (Hartono, 1992). Formasi Morfoset ini menumpang diatas Formasi Mandalika.

Batuan-batuan piroklastik yang berasal dari formasi Mandalika dan Morfoset Argholangan mudah melapuk. Sehingga, membentuk suatu lapisan sedimen yang tebal. Akibatnya, batuan ini dapat mempengaruhi nilai frekuensi natural, amplifikasi maupun indeks kerentanan tanah. Kecepatan gelombang geser berpengaruh pada nilai frekuensi natural dan berpengaruh pula pada amplifikasi (Sungkono, 2012), sehingga kontras impedansi yang tinggi menyebabkan tanah tersebut berbahaya apabila dilewati gelombang gempa. Kontras impedansi disebabkan oleh perbedaan impedansi antara sedimen dengan batuan dasar.

4.2.4 Analisa Indeks *Ground Shear Strain*

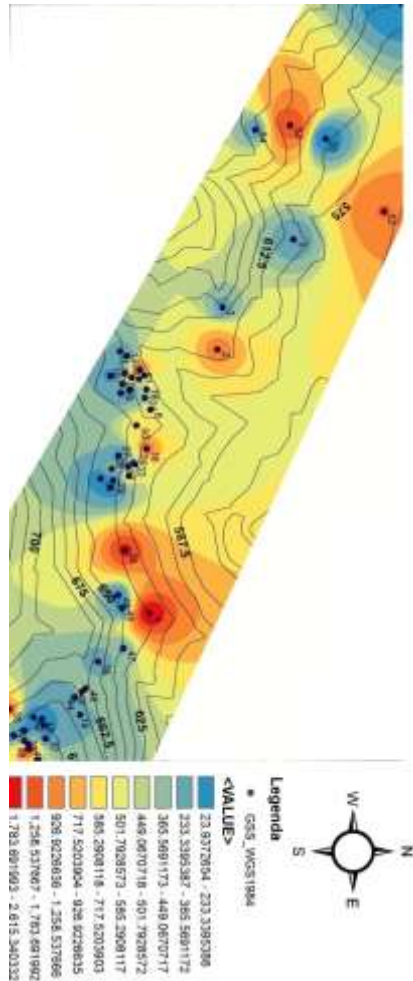
Dalam penentuan indeks kerentanan tanah, *shear strain* (γ) dapat dipertimbangkan (Nakamura, 1997b). Sehingga, ketika indeks kerentanan tanah telah diperoleh, maka parameter *shear strain* dapat dihitung. Dalam penelitian ini, *shear strain* diperoleh dengan beberapa asumsi antara lain kecepatan gelombang geser

bedrock dianggap bernilai 600 m/s dan nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) untuk daerah Tulungagung sebesar 341 gal/m (Kumala, 2016). Nilai *Ground Shear Strain* daerah penelitian, sebagaimana Gambar 4.7.

Gambar 4.7 dan Gambar 4.6 menunjukkan bahwa nilai Indeks kerentanan tanah dan *Ground Shear Strain* (GSS) adalah identik. Hal ini dikarenakan Indeks Kerentanan tanah merupakan parameter yang digunakan untuk menentukan GSS dan berbanding lurus (Nakamura, 1997b).

Desa Kradinan mempunyai beberapa area dengan nilai GSS yang tinggi dan sangat tinggi. Pada sisi timur Desa Kradinan mempunyai nilai tinggi yang diduga disebabkan oleh lapisan sedimen yang tebal, selain itu juga terdapat beberapa titik yang memiliki nilai yang kecil yang kemungkinan disebabkan oleh adanya batuan keras yang diduga merupakan Formasi Mandalika yang terdiri dari andesit, dasit dan breksi gunungapi.

Sepanjang jalan utama Desa Kradinan, nilai GSS juga bervariasi. Nilai tertinggi berada di sebuah tanah landai pemukiman warga yang mempunyai struktur geologi alluvium, yang diduga pada titik tersebut mempunyai sedimen tebal sebab hasil analisa frekuensi natural menunjukkan nilai yang rendah.



Gambar 4. 8 Mikrozonasi *Ground Shear Strain* Desa Kradinan

4.2.5 Analisa Indeks Percepatan Getaran Minimum

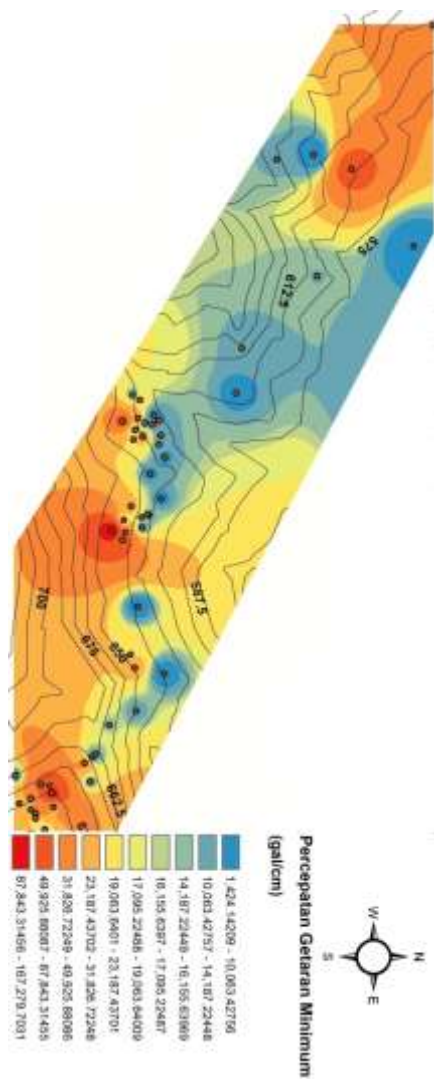
Percepatan getaran minimum merupakan parameter yang dapat digunakan untuk mengestimasi percepatan getaran minimum yang dapat menyebabkan terjadinya likuifaksi. Sesuai

dengan Nakamura (1997b), nilai *shear strain* (γ) untuk suatu daerah dapat mengalami likuifaksi adalah 10^{-2} . Pada penelitian ini, nilai percepatan getaran minimum ditentukan dengan Persamaan (2.15) serta diasumsikan bahwa batuan dasar di Desa Kradinan merupakan Andsesit dengan kecepatan dasar (V_s) sebesar 2500 m/s (Schön and Dasgupta, 2015).

Selanjutnya, Safrian (2018) mengemukakan bahwa percepatan getaran minimum berkebalikan dengan GSS. Nilai percepatan getaran minimum yang rendah menunjukkan semakin rentannya area tersebut. Karena dibutuhkan percepatan yang kecil untuk dapat merusak area tersebut.

Gambar 4.9 merupakan percepatan getaran minimum daerah penelitian yang dapat diklasifikasikan sedang hingga tinggi. Nilai percepatan getaran minimum untuk Desa Kradinan sebelah timur berkisar antara 31.826-167.279 gal/cm sementara untuk wilayah tengah mempunyai nilai 1.424-17.095 gal/cm. Hal ini sesuai dengan analisa frekuensi natural, amplifikasi dan indeks kerentanan tanah yang menyatakan bahwa nilai-nilai yang berada di sisi kanan Desa Kradinan cenderung menandakan bahwa area tersebut memiliki sedimen yang tebal, amplifikasi yang tinggi serta indeks kerentanan tanah yang tinggi sehingga rentan terhadap kerusakan akibat gempa bumi.

Pada area dengan percepatan getaran minimum yang sangat rendah, sebesar 1.424–10.063 gal/cm merupakan daerah yang berada di bawah lembah dan hampir mendekati sungai sehingga daerah tersebut akan terjadi likuifaksi apabila dilalui oleh getaran gempa dengan magnitudo besar. Sebagai pembanding, sebuah truk besar dapat menimbulkan getaran sebesar 10.000–25.000 gal/cm



Gambar 4. 9 Mikrozonasi percepatan getaran minimum Desa Kradinan

4.2.6 Analisa Zona Potensi Tanah Longsor

Menurut (Cornforth, 2005) longsor dapat disebabkan oleh getaran gempa bumi, curah hujan yang tinggi, pelapukan, tekanan air artesis, berosi sungai dan pesisir, sehingga pengaktifan bidang gelincir longsor lama.

Pada penelitian ini, parameter-parameter yang dihasilkan dari pengukuran mikrotremor dapat digunakan untuk menganalisa zona potensi tanah longsor. Persebaran frekuensi natural menunjukkan kawasan dengan frekuensi natural rendah menandakan kawasan tersebut berpotensi longsor. Dikarenakan, frekuensi rendah menandakan sedimen yang tebal dan berbanding lurus dengan nilai kecepatan gelombang (V_s) yang menurun sehingga gelombang akan memerlukan waktu yang lebih lama untuk mencapai satu periode.

Setelah frekuensi natural, parameter berikutnya adalah amplifikasi. Hasil analisa menunjukkan bahwa nilai amplifikasi di Desa Kradinan bernilai tinggi di sisi kanan. Nilai tersebut disebabkan karena impedansi antara batuan sedimen dan batuan dasar. Sedimen tebal yang tersaturasi dengan fluida akan menyebabkan nilai kecepatan gelombang di sedimen menurun sementara kecepatan gelombang di batuan dasar tetap. Saturasi fluida juga menyebabkan densitas dan kecepatan gelombang geser batuan menurun sebab daya ikat antar butir menurun. Akibatnya, kontras impedansi semakin tinggi dan menyebabkan area tersebut berpotensi terjadi tanah longsor.

Parameter indeks kerentanan tanah, GSS, dan percepatan getaran minimum saling berkaitan. Nakamura, (1997b) menyatakan bahwa Indeks Kerentanan tanah merupakan sebuah parameter untuk menentukan kerusakan akibat gelombang gempa yang melewati suatu daerah dan berbanding lurus dengan GSS. Hasil pengukuran mikrotremor menunjukkan bahwa area dengan kerusakan tinggi akibat gelombang gempa bumi di Desa Kradinan berada di sisi kanan Kradinan. ini pada area tersebut nilai indeks kerentanan tanah dan GSS yang tinggi. Sehingga, apabila area

tersebut dilewati oleh gelombang gempa bumi, maka area tersebut akan berpotensi terjadi longsor.

Adapun untuk percepatan getaran minimum, merupakan nilai dari getaran minimum untuk terjadinya liquifaksi. Hasil analisa menunjukkan bahwa area sisi kanan desa kradinan cenderung akan terjadi liquifaksi ketika dikenai getaran dibandingkan dengan area lain dikarenakan nilai percepatan getaran sebesar 1.424-10.063 gal/cm. Berdasarkan hasil ini dapat diketahui bahwa potensi tanah longsor di Desa Kradinan berada di area yang memiliki nilai frekuensi natural rendah, amplifikasi, indeks kerentanan tanah dan GSS yang tinggi, serta percepatan getaran minimum yang rendah

Hasil analisa mikrotremor masih menunjukkan tahap *reconnaissance* atau tahap survei awal. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, titik pengukuran diperluas hingga mencakup daerah-daerah puncak bukit dan hutan di Desa Kradinan, serta adanya data bor untuk dikorelasikan dan metode Geofisika lain seperti *Very Low Frequency Electromagnetic* (VLF-EM) dan resistivitas. Sehingga, pemetaan potensi tanah longsor dapat lebih akurat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa penelitian tugas akhir ini, didapat kesimpulan bahwa berdasarkan hasil analisa data mikrotremor, area sisi kanan Desa Kradinan merupakan zona potensi tanah longsor karena mempunyai nilai frekuensi rendah, amplifikasi tinggi, indeks kerentanan tanah dan *ground shear strain* tinggi. Serta, percepatan getaran minimum yang rendah. Sementara, area kiri Desa Kradinan merupakan daerah aman dari tanah longsor dikarenakan analisa mikrotremor menunjukkan indikasi parameter-parameter mikrotremor yang kebalikan dari sisi kanan Desa Kradinan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Asten, M., Henstridge, J., 1984. Array estimators and the use of microseisms for reconnaissance of sedimentary basins. *GEOPHYSICS* 49, 1828–1837. <https://doi.org/10.1190/1.1441596>
- Bemmelen, V., 1949. *The Geology of Indonesia*.
- Bonnefoy-Claudet, S., Cornou, C., Bard, P.-Y., Cotton, F., Moczo, P., Kristek, J., Fäh, D., 2006. H/V ratio: a tool for site effects evaluation. Results from 1-D noise simulations. *Geophys. J. Int.* 167, 827–837. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03154.x>
- Cara, F., Cultrera, G., Azzara, R.M., Rubeis, V.D., Di, G., Giammarinaro, M.S., Tosi, P., Vallone, P., Rovelli, A., 2009. Microtremor Measurements in the City of Palermo, Italy: Analysis of the Correlation with Local Geology and Damage 42.
- Cornforth, D., 2005. *Landslides in Practices Investigations, Analysis and Remedial/PReventative Option in Soils*. John Wiley & Sons.
- Dal Moro, G., 2011. (PDF) Some Aspects about Surface Wave and HVSR Analyses: a Short Overview and a Case Study. ResearchGate. <http://dx.doi.org/10.4430/bgta0007>
- De Blasio, F.V., 2011. *Introduction to the physics of landslides: Lecture notes on the dynamics of mass wasting*. Springer, New York.
- Hartono, 1992. *Peta Lembar Geologi Madiun*.
- Herak, M., 2008. ModelHVSR—A Matlab® tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise. *Comput. Geosci.* 34, 1514–1526. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.07.009>
- Konno, K., Ohmachi, T., 1998. Ground-Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio between Horizontal and Vertical Components of Microtremor 14.
- Kumala, S.A., 2016. *Analisa Nilai Peak Ground Acceleration untuk seluruh wilayah dan kota di Provinsi Jawa Timur* 7.

- Kusky, T.M., 2008. Floods: hazards of surface and groundwater systems. Infobase Pub., New York.
- McPhie, J., 1993. Volcanic Textures A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks. University of Tasmania.
- Nakamura, Y., 2008. ON THE H/V SPECTRUM.
- Nakamura, Y., 1997a. SEISMIC VULNERABILITY INDICES FOR GROUND AND STRUCTURES USING MICROTREMOR 7.
- Nakamura, Y., 1997b. SEISMIC VULNERABILITY INDICES FOR GROUND AND STRUCTURES USING MICROTREMOR 7.
- Nakamura, Y., 1989. CLEAR IDENTIFICATION OF FUNDAMENTAL IDEA OF NAKAMURA'S TECHNIQUE AND ITS APPLICATIONS 8.
- Ngadmanto, D., Susilanto, P., Nurdianto, B., Pakpahan, S., 2013. EFEK TAPAK LOKAL PADA DAERAH KERUSAKAN AKIBAT GEMPABUMI BOGOR 9 SEPTEMBER 2012 14, 8.
- Nogoshi and Igarashi, M. and T., 1971. On the Amplitude Characteristics of Microtremor (Part 2).
- Partono, W., 2013. Aplikasi Metode HVSR pada Perhitungan Faktor Amplifikasi Tanah di Kota Semarang. MEDIA Komun. Tek. SIPIL 19, 10.
- Partono, W., Retno Wardani, S.P., Irsyam, M., Maarif, S., 2015. DEVELOPMENT OF SEISMIC MICROZONATION MAPS OF SEMARANG, INDONESIA. J. Teknol. 77. <https://doi.org/10.11113/jt.v77.6428>
- Safrian, A., 2018. Mikrozonasi Kegempaan Berdasarkan Parameter HVSR di Kabupaten Pacitan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Sassa, K., 2009. Landslides Risk Analysis and Sustainable Disaster Management. Springer.
- Schön, J.H., Dasgupta, A., 2015. Physical properties of rocks: fundamentals and principles of petrophysics, 2nd. ed. ed,

- Developments in petroleum science. Elsevier, Amsterdam.
- Seht, M.I., Wohlenberg, J., 1999. Microtremor Measurements Used to Map Thickness of Soft Sediments 10.
- SESAME, S., 2003. SESAME-HV-User-Guidelines 63.
- Sungkono, S., 2012. Karakterisasi Kurva Horizontal to Vertical Spectral Ratio: Kajian Literatur dan Pemodelan. J. NEUTRINO. <https://doi.org/10.18860/neu.v0i0.1662>
- Tan, L., 2008. Digital signal processing: fundamentals and applications. Elsevier, Acad. Press, Amsterdam.
- Towhata, I., 2008. Geotechnical earthquake engineering, Springer series in geomechanics and geoen지니어ing. Springer, Berlin.
- Tulungagung, B., 2013. Tulungagung Bapedda.
- Varnes, 1996. (PDF) Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996, Landslide Types and Processes, Transportation Research Board, U.S. National Academy of Sciences, Special Report, 247: 36-75. ResearchGate.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

LAMPIRAN

No	Lat	Lon	Frequency	Amplifikasi	Kg	GSS (10 ⁶)	PGM
1	-7.9572	111.773708	5.97848	6.10317	6.230460593	563.8500696	72.99185511
2	-7.9557	111.77316	3.36433	6.54371	12.7276874	1151.842199	35.73099043
3	-7.9556	111.77249	7.61596	5.12594	3.450026114	312.2237009	131.8172274
4	-7.9567	111.777343	3.68403	10.3182	28.89912711	2615.340325	15.73656101
5	-7.9545	111.771413	5.80028	4.11319	2.916812977	263.968478	155.914308
6	-7.9572	111.773848	7.58558	3.7822	1.885819784	170.6646886	241.1539431
7	-7.9573	111.77358	7.61596	2.01906	0.5352711	48.44146628	849.6122381
8	-7.9567	111.774118	2.89194	4.59852	7.312180125	661.7445389	62.19388324
9	-7.9527	111.76768	6.74773	2.60053	1.002226865	90.70046731	453.7624095
10	-7.9571	111.773532	6.35147	2.73879	1.18098183	106.8776019	385.0803334
11	-7.9572	111.773188	13.7656	7.01888	3.57882522	323.8798833	127.073229
12	-7.9568	111.77357	8.9247	7.13467	5.703666903	516.1757999	79.73342143
13	-7.9571	111.773263	8.27287	3.71691	1.669967006	151.1302413	272.3244682
14	-7.957	111.773807	5.66199	2.55638	1.154201739	104.4540321	394.0150682
15	-7.957	111.773797	9.26963	3.63153	1.422711601	128.7538896	319.6521884
16	-7.9568	111.773792	7.66865	6.58562	5.655544429	511.820767	80.41186531
17	-7.9569	111.773628	7.38329	5.19666	3.657620811	331.0108005	124.335709
18	-7.9568	111.774732	3.87509	7.41941	14.20551387	1285.583925	32.01382794
19	-7.9578	111.77895	9.62789	5.95845	3.687529293	333.7174864	123.3272581
20	-7.957	111.773602	3.87509	6.82164	12.00869458	1086.774112	37.87030087
21	-7.9587	111.7792	1.61995	1.38652	1.186726572	107.397495	383.2162249
22	-7.9589	111.779272	1.29029	1.78714	2.475311271	224.0130423	183.7235108
23	-7.9584	111.779118	8.9247	1.65594	0.3072526	27.80603417	1480.127023
24	-7.9568	111.773928	1.88528	2.76148	4.044901442	366.0592865	112.4311392
25	-7.9571	111.775163	4.34198	5.76573	7.656332464	692.8899603	59.3982666

26	-7.957	111.774978	4.34198	6.49445	9.713973994	879.1043344	46.81635726
27	-7.9572	111.774845	5.66199	2.90401	1.489454075	134.7940127	305.328566
28	-7.9573	111.77505	6.34418	5.59296	4.930692629	446.2224486	92.23306159
29	-7.9573	111.775238	9.26963	3.67791	1.459283916	132.0636453	311.641122
30	-7.9573	111.775347	8.9247	2.11165	0.499632001	45.21616573	910.2156701
31	-7.9575	111.775208	7.10856	1.31888	0.244697162	22.14483335	1858.513087
32	-7.9571	111.775012	5.4513	3.58124	2.352701179	212.9169591	193.2981889
33	-7.957	111.77496	4.18041	2.80616	1.883675033	170.4705909	241.4285208
34	-7.9575	111.778105	0.952661	1.61013	2.721344336	246.2787735	167.1133163
35	-7.9589	111.77886	1.02772	3.69554	13.28865439	1202.609116	34.22264313
36	-7.9571	111.77634	4.50979	9.99636	22.15784177	2005.261158	20.52424065
37	-7.9584	111.779328	6.58937	3.48212	1.840109099	166.5279201	247.1445183
38	-7.9586	111.779417	6.84404	2.09199	0.639450114	57.86955652	711.1936752
39	-7.9587	111.77937	1.06744	1.5384	2.217149966	200.6497183	205.1159749
40	-7.9586	111.77949	0.850222	4.80525	27.15811584	2457.780653	16.74537658
41	-7.9585	111.779662	7.96503	5.07723	3.236430305	292.8935069	140.5168145
42	-7.9586	111.77899	2.27887	1.31079	0.753957191	68.23232542	603.1812976
43	-7.9584	111.779013	1.88528	1.187	0.747352648	67.63462127	608.5117624
44	-7.9579	111.77867	2.03382	1.47819	1.074355487	97.22803105	423.298324
45	-7.9578	111.778578	1.55967	3.60404	8.32811064	753.685172	54.60696868
46	-7.9577	111.778535	1.06744	1.77045	2.936458445	265.746372	154.8712115
47	-7.9571	111.777892	0.883082	1.83399	3.808841444	344.6961073	119.3992671
48	-7.9572	111.777253	4.68409	2.60547	1.44926206	131.1566779	313.7961653
49	-7.9572	111.777053	5.05316	3.04841	1.839008369	166.4283051	247.2924456
50	-7.9569	111.774362	3.87509	5.4324	7.615557254	689.199847	59.71629675
51	-7.9569	111.773488	1.95814	5.8763	17.6345418	1595.907313	25.78875493
52	-7.953	111.770972	0.604385	2.91485	14.05784479	1272.22003	32.35011367

53	-7.9545	111.769608	2.03382	6.02055	17.82213878	1612.884641	25.51730084
54	-7.9551	111.769677	8.59261	5.15113	3.08801869	279.4624133	147.270118
55	-7.9539	111.76982	5.05316	1.77523	0.623657583	56.44034922	729.2028337

BIODATA PENULIS



Penulis Bernama “Bramantya Ramadhany” merupakan anak kedua dari dua bersaudara Lahir di Tulungagung pada Tanggal 1 Februari 1995. Riwayat pendidikan penulis antara lain SDN 1 Kauman, SMPN 1 Kauman dan SMAN 1 Kedungwaru Tulungagung serta diterima di Jurusan Fisika FS ITS Pada tahun 2014 dengan NRP 1114100019.

Semasa kuliah penulis aktif dalam Organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika, dan Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia (Pusat) dengan jabatan Staff Media dan Informasi. Penulis juga pernah menjadi ketua Seksi Mahasiswa Ikatan Ahli Geologi Indonesia.

Pengalaman penulis pernah dua kali mempresentasikan paper dalam acara EAGE-HAGI 1st Near Surface Geoscience Engineering Conference di Yogyakarta pada April, 2018 serta EAGE-GSM 2nd Near Surface Geoscience Engineering Conference di Kuala Lumpur, Malaysia pada April 2019 penulis juga pernah mengikuti basic exploration mineral and mining yang diadakan oleh PT. Antam pada November, 2017

Apabila ada kritik dan saran, pembaca dapat mengirim pesan ke bramantya.r@gmail.com