



TUGAS AKHIR - RF 184840

ANALISIS MIKROTREMOR DENGAN METODE HVSR UNTUK MIKROZONASI KECAMATAN BAHODOPI KABUPATEN MOROWALI

Novian Arif Setiawan
NRP 0341154000015

Dosen Pembimbing
Dr. Amien Widodo
NIP. 19591010 198803 1 001
Dr. Dwa Desa Warnana
NIP. 19760123 200003 1001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA

Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan



TUGAS AKHIR - RF 184840

ANALISIS MIKROTREMOR DENGAN METODE HVSR UNTUK MIKROZONASI KECAMATAN BAHODOPI KABUPATEN MOROWALI

Novian Arif Setiawan
NRP 03411540000015

Dosen Pembimbing

1. Dr. Amien Widodo
NIP. 19591010 198803 1 001
2. Dr. Dwa Desa Warnana
NIP. 19760123 200003 1001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN



THESIS - RF 184840

MICROTREMOR ANALYSIS FOR MICROZONATION USING HVSr METHOD IN BAHODOPI DISTRICT, MOROWALI REGENCY

Novian Arif Setiawan
NRP 03411540000015

Supervisor

1. Dr. Amien Widodo
NIP. 19591010 198803 1 001
2. Dr. Dwa Desa Warnana
NIP. 19760123 200003 1001

DEPARTMENT OF GEOPHYSICAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Enviromental, and Geoscience Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tugas akhir saya dengan judul "**ANALISIS MIKROTREMOR DENGAN METODE HVSR UNTUK MIKROZONASI KECAMATAN BAHODOPI KABUPATEN MOROWALI**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 15 Juni 2020



Novian Arif Setiawan

NRP. 03411540000015

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh

Nama : Novian Arif Setiawan
NRP : 03411540000015
Departemen : Teknik Geofisika
Judul Tugas Akhir : Analisis Mikrotremor dengan Metode HVSR untuk Mikrozonasi Kecamatan Bahodopi Morowali

Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 27 Juli 2020

1.


Dr. Amien Widodo

NIP. 19591010 198803 1 001

(Pembimbing I)

2.


Dr. Dwa Desa Warnana

NIP. 19760123 200003 1 001

(Pembimbing II)

3.


M. Haris Miftakhul Fajar, ST., M.Eng

NIP. 19890208 201803 1 001

(Penguji I)

4.


Dr. Widya Utama

NIP. 19611024 198803 1 001

(Penguji II)

Menyetujui,
Kepada Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Dr. Dwa Desa Warnana, S. Si, M. Si

NIP. 19760123 200003 1 001

DEPARTEMEN
TEKNIK GEOFISIKA

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

ANALISIS MIKROTREMOR DENGAN METODE HVSR UNTUK MIKROZONASI KECAMATAN BAHODOPI KABUPATEN MOROWALI

Nama Mahasiswa : Novian Arif Setiawan
NRP : 0341154000015
Departemen : Teknik Geofisika
Pembimbing 1 : Dr. Amien Widodo
Pembimbing 2 : Dr. Dwa Desa Warnana

ABSTRAK

Gerakan tanah merupakan bencana yang sering terjadi di kabupaten Morowali. Kecamatan Bahodopi merupakan salah satu kecamatan di Morowali yang sering mengalami dampak kerusakan dari gerakan tanah. Salah satu factor yang menjadi pemicu kerusakan akibat gerakan tanah adalah karakteristik dinamika tanah seperti frekuensi natural, ketebalan sedimen, amplifikasi, dan indeks kerentanan tanah. Pengukuran data mikrotremor dilakukan di Kecamatan Bahodopi Kabupaten Morowali untuk mengetahui parameter dinamika karakteristik tanah yang rentan terhadap bahaya gerakan tanah berdasarkan frekuensi natural (f_0), ketebalan sedimen (h), amplifikasi (A_0), dan indeks kerentanan tanah (K_g). Analisis data mikrotremor menggunakan metode HVSR dengan *software* geopsy untuk mendapatkan dua parameter utama yaitu f_0 dan A_0 . Selanjutnya menghitung nilai h dan K_g menggunakan metode Kanai. Hasil penelitian didapatkan nilai frekuensi natural 0,731 – 11,520 Hz, amplitudo HVSR 2,254 - 16,932, ketebalan sedimen 7-85 meter dan indeks kerentanan tanah bernilai 0,62 – 224,934. Berdasarkan parameter-parameter karakteristik dinamika tanah daerah penelitian, daerah yang berpotensi mengalami kerusakan yang lebih tinggi berada pada nilai frekuensi natural rendah yang berasosiasi dengan amplifikasi tinggi dan indeks kerentanan tanah diatas 10. Berdasarkan data tersebut dan validasi dari kejadian gempa Bantul pada titik MKT-12, MKT-18 dan MKT-22 akan mengalami kerusakan paling parah jika didirikan bangunan akibat gempa bumi. Hal ini dikarenakan pada daerah tersebut memiliki nilai frekuensi natural rendah, amplifikasi tinggi dan indeks kerentanan tanah yang tinggi.

Kata kunci : Amplitudo, Bahodopi, HVSR, Mikrotremor, Mikrozonasi

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

MICROTREMOR ANALYSIS FOR MICROZONATION USING HVSR METHOD IN BAHODOPI DISTRICT, MOROWALI REGENCY

Name : Novian Arif Setiawan
Student ID : 03411540000015
Departement : Geophysical Engineering
Advisor 1 : Dr. Amien Widodo
Advisor 2 : Dr. Dwa Desa Warnana

ABSTRACT

Ground movement is a disaster that occurs frequently in Morowali. Bahodopi is one of the sub-districts in Morowali which suffers damage from ground movements. Factors that triggers damage due to ground movement is characteristics of soil dynamics such as natural frequency, thickness of the sediment, amplification, and soil vulnerability index. Microtremor data measurements were carried out in Bahodopi District, Morowali Regency to determine the dynamic parameters of soil characteristics that are susceptible to soil movement hazards based on natural frequency (f_0), sediment thickness (h), amplification (A_0), and soil vulnerability index (K_g). Microtremor data analysis using the HVSR method with geopsy software to get two main parameters f_0 and A_0 . Next, the h and K_g values were calculated using the Kanai method. The results showed natural frequency values of 0.731 - 11.520 Hz, amplitude of HVSR 2.254 - 16.932, sediment thickness of 7-85 meters and soil vulnerability index value of 0.62 - 224.934. Based on the parameters of the soil dynamics characteristics, the area that has the potential to suffer higher damage is at a low natural frequency value associated with high amplification and soil vulnerability index above 10. Based on these data and the validation of the Bantul earthquake at MKT-12 point, MKT-18 and MKT-22 will suffer the most damage due to an earthquake. This is because the area has a low natural frequency value, high amplification and a high soil vulnerability index.

Key words : Amplification, Bahodopi, HVSR, Microtremor, Microzonation

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas rahmat-Nya laporan Tugas Akhir yang berjudul **"ANALISIS MIKROTREMOR DENGAN METODE HVSr UNTUK MIKROZONASI KECAMATAN BAHODOPI KABUPATEN MOROWALI"** ini dapat terselesaikan. Pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat terlaksanakan dengan baik, tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu, Bapak, dan semua keluarga atas dukungan moril maupun materi selama menjalani tugas akhir ini.
2. Dr. Dwa Desa Warnana selaku ketua Departemen Teknik Geofisika ITS.
3. Dr. Amien Widodo selaku dosen pembimbing selama penyusunan tugas akhir yang telah meluangkan banyak waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, dan dukungan.
4. Dr. Dwa Desa Warnana selaku dosen pendamping selama penyusunan tugas akhir yang telah meluangkan banyak waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, dan dukungan.
5. Dr. Hendra Gunawan selaku pembimbing eksternal yang telah memberikan arahan serta dukungan selama penyusunan tugas akhir.
6. Seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Geofisika ITS yang telah banyak memberikan ilmu dan membantu secara administrasi selama penulis melakukan studi di Departemen Teknik Geofisika ITS.
7. Seluruh anggota Tim MKT Morowali (Sukran IMIP dan Vibry TG3) yang telah banyak membantu dalam pengambilan data Tugas Akhir.
8. Seluruh teman-teman TG4 dan TG5 Teknik Geofisika ITS yang telah memberikan semangat kepada penulis.
9. dan semua orang yang terlibat dalam pembuatan tugas akhir ini yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Semoga Allah membalas semua kebaikan semua pihak. Penulis menyadari tentunya penulisan tugas akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga tugas akhir ini membawa manfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 22 Juni 2019

Novian Arif Setiawan
NRP. 0341154000015

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	2
1.6 Target Luaran.....	2
BAB II.....	3
2.1 Dasar Teori.....	3
2.1.1 Geologi Regional Daerah Penelitian.....	3
2.1.1.1 <i>Fisiografi Regional</i>	3
2.1.1.2 <i>Stratigrafi Regional</i>	4
2.1.2 Metode Geofisika.....	7
2.1.2.1 <i>Gempa Bumi</i>	7
2.1.2.2 <i>Prinsip Dasar Mikrotremor</i>	8
2.1.2.3 <i>Analisis Spektrum H/V</i>	9
2.1.2.4 <i>Pengolahan HVSR</i>	10
2.1.2.5 <i>Klasifikasi Tanah Berdasarkan Mikrotremor</i>	11

2.1.2.5 Indeks Kerentanan Tanah.....	12
BAB III.....	13
3.1 Perangkat dan Data.....	13
3.2 Desain Pengukuran Mikrotremor.....	13
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	15
3.3.1 <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) dan <i>HVSR Processing</i>	16
3.3.2 Perhitungan Nilai Ketebalan Sedimen dan Indeks Kerentanan Tanah.....	19
BAB IV.....	21
4.1 Analisis Data Penelitian.....	21
4.2 Analisis Frekuensi Dominan.....	23
4.3 Analisis Amplitudo Maksimal (A_0).....	24
4.4 Analisis Ketebalan Sedimen (h).....	26
4.5 Analisis Indeks Kerentanan Tanah (K_g).....	28
BAB V.....	33
5.1 Simpulan	33
5.2 Saran	33
DAFTAR PUSTAKA.....	35
Daftar Luaran.....	39
Biografi Penulis.....	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Fisiografi pulau Sulawesi (Hamilton, 1979).....	3
Gambar 2.2 Peta geologi regional daerah penelitian.....	6
Gambar 3.1 Desain akuisisi data mikrotremor setelah di overlay dengan peta topografi.....	14
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian.....	15
Gambar 3.3 Tampilan awal perangkat lunak <i>Geopsy</i>	16
Gambar 3.4 <i>Setting</i> parameter FFT.....	17
Gambar 3.5 Hasil <i>Windowing</i> pada sinyal MKT-01.....	17
Gambar 3.6 Hasil kurva HVSR.....	18
Gambar 4.1 Topografi daerah penelitian.....	22
Gambar 4.2 Peta persebaran F_0 yang di- <i>overlay</i> dengan peta topografi.....	23
Gambar 4.3 Peta persebaran Amplitudo HVSR yang di- <i>overlay</i> dengan peta topografi.....	25
Gambar 4.4 Peta persebaran nilai ketebalan lapisan sedimen yang di- <i>overlay</i> dengan peta topografi.....	27
Gambar 4.5 Peta persebaran nilai ketebalan lapisan sedimen yang di- <i>overlay</i> dengan peta geologi.....	27
Gambar 4.6 Peta persebaran indeks kerentanan tanah yang di- <i>overlay</i> dengan peta geologi.....	28
Gambar 4.7 Peta Tingkat Kerusakan Bangunan Akibat Gempa.....	29
Gambar 4.8 Peta Persebaran nilai K_g yang di- <i>overlay</i> dengan Peta Tingkat Kerusakan Bangunan Akibat Gempa.....	30

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan jenis sumber mikrotremor menurut Gutenberg & Asten.....	9
Tabel 2.2 Klasifikasi tanah berdasar nilai frekuensi dominan mikrotremor oleh Kanai.....	11
Tabel 3.1 Tabel Lokasi Titik Penelitian.....	13
Tabel 4.1 Data hasil penelitian.....	21

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bencana gerakan tanah seperti gempabumi dan tanah longsor merupakan salah satu bencana yang sering terjadi di Kabupaten Morowali Sulawesi Tengah. Berdasarkan laporan Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) pada tahun 2018 diketahui bahwa Kabupaten Morowali mempunyai potensi gempabumi setiap tahunnya. Potensi gempabumi pada daerah ini dikarenakan adanya sumber-sumber gempa seperti sesar aktif dan subduksi. Menurut BNPB sepanjang tahun 2018 menyatakan bahwa sumber gempabumi yang dampaknya terasa hingga Kabupaten Morowali adalah Sesar Matano dan Sesar naik Tolo. Sesar Matano dengan 38 kejadian gempa >5SR dan Sesar naik Tolo 14 kejadian gempa >5SR. Akibatnya Kecamatan Bahodopi menjadi daerah yang terdampak gempa bumi (BNPB, 2018). Secara umum topografi di sekitar daerah terdampak berupa perbukitan bergelombang dengan ketinggian bervariasi mulai dari 0 m dpl pada daerah pantai sampai >500m dpl di daerah perbukitan serta laut yang memanjang dari utara ke selatan. Daerah pinggir pantai sebagian daerahnya relatif datar yang tertutupi oleh aluvium. Berdasarkan peta geologi lembar Bungku, Kecamatan Bahodopi merupakan daerah yang hampir seluruh bagiannya terbentuk oleh formasi Tomata (Tmpt) yang terdiri atas batupasir, konglomerat, batulempung dan tuf dengan sisipan lignit. Selain itu pada daerah pantai didominasi oleh endapan alluvium (Qa) (Simanjuntak dkk., 1993). Menurut (Nakamura, 2000) kondisi geologi seperti endapan alluvial, batupasir, konglomerat, dan batulempung mempunyai potensi bahaya yang lebih besar terhadap efek intensitas gerakan tanah karena gempa bumi. Sedangkan kondisi lapisan batuan bawah permukaan memiliki sifat fisis yang beragam pada saat terjadi perambatan gelombang seismik.

Oleh karena itu, karakteristik tanah lokal menjadi bagian yang penting dalam memperkirakan dampak gempabumi secara spesifik. Salah satu parameter penting yang harus diketahui ialah indeks kerentanan tanah (kg). Parameter ini diperoleh melalui analisa kurva *HVSR*. Parameter ini dapat menjadi pengontrol amplifikasi gelombang seismik selama gempa bumi sehingga efek amplifikasi dapat ditentukan untuk memberikan informasi mikrozonasi bawah permukaan. Informasi ini dapat digunakan untuk mempelajari efek lokal, pemetaan potensi likuifaksi, klasifikasi getaran tanah dan karakterisasi tanah akibat tanah lunak yang berada diatas bedrock (Sutrisno, 2014).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas rumusan masalah dari penelitian pada tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik dinamika tanah Kecamatan Bahodopi berdasarkan frekuensi dominan (f_0), Amplitudo maksimal (A_0), ketebalan sedimen (h) dan indeks kerentanan tanah (K_g).
2. Bagaimana mikrozinasi daerah rawan terkena dampak gempabumi di Kecamatan Bahodopi Kabupaten Morowali

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan topik permasalahan dalam penelitian pada tugas akhir ini, penulis menyimpulkan beberapa batasan masalah yaitu:

1. Data yang digunakan untuk pengolahan adalah data hasil pengukuran dalam format time series yang diambil di Kecamatan Bahodopi Kabupaten Morowali.
2. Pengolahan data menggunakan metode HVSR dan analisa data menggunakan *software* Geopsy untuk mendapatkan nilai berdasarkan frekuensi dominan (f_0) dan Amplitudo maksimal (A_0).
3. Mikrozonasi daerah rawan terkena dampak gempabumi berupa peta zonasi frekuensi dominan (f_0), Amplitudo maksimal (A_0), ketebalan sedimen (h) dan indeks kerentanan tanah (K_g).

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Menentukan karakteristik dinamika tanah Kecamatan Bahodopi berdasarkan frekuensi dominan (f_0), Amplitudo maksimal (A_0), ketebalan sedimen (h) dan indeks kerentanan tanah (K_g).
2. Mengetahui mikrozonasi daerah rawan terkena dampak gempabumi.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini yaitu dapat mengetahui karakteristik dinamika tanah berdasarkan frekuensi dominan (f_0), Amplitudo maksimal (A_0), ketebalan sedimen (h) dan indeks kerentanan tanah (K_g) pada daerah penelitian serta memberikan informasi mikrozonasi dan rekomendasi pembangunan kepada pihak terkait.

1.6 Target Luaran

Target luaran dari penelitian ini adalah publikasi jurnal Geosaintek

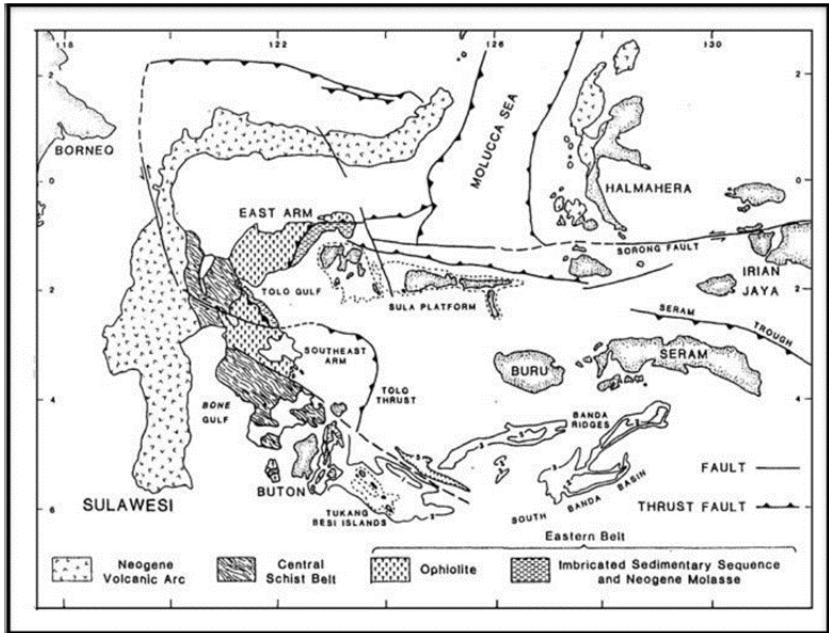
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Geologi Regional Daerah Penelitian

2.1.1.1 Fisiografi Regional

Secara umum Pulau Sulawesi terletak pada pertemuan 3 Lempeng besar yaitu Pasifik, Eurasia dan Indo-Australia serta beberapa lempeng lebih kecil (Lempeng Filipina) yang menyebabkan kondisi tektoniknya sangat kompleks. Kompleksitas ini disebabkan oleh adanya konvergensi antara tiga lempeng litosfer yaitu lempeng Australia yang bergerak ke arah utara, lempeng Pasifik ke arah barat-bergerak, dan lempeng Eurasia yang bergerak ke arah selatan-tenggara-bergerak. (Hamilton, 1979). Secara geografis Kabupaten Morowali berada pada koordinat $121^{\circ}30'12''$ – $121^{\circ}45'00''$ BT sampai $2^{\circ}9'56''$ – $2^{\circ}25'00''$ LS.



Gambar 2.1 Fisiografi pulau Sulawesi (Hamilton, 1979)

Secara umum menurut (Hamilton, 1979), (Sukanto, 1975a), (Sukanto, 1975b) dan (Smith dan Silver, 1991) Sulawesi dibagi ke dalam tiga bagian fisiografi yaitu :

1. Busur Vulkanik Neogen (*Neogene Volcanic Arc*). Busur ini terdiri dari kompleks basement Paleozoikum Akhir dan Mesozoikum Awal pada bagian

utara dan tengahnya, batuan melange pada awal Kapur Akhir pada bagian selatan (Sukanto, 1975b), sedimen *flysch* yang berumur Kapur Akhir hingga Eosen yang diendapkan pada *fore arc basin* (cekungan muka busur) di bagian utara dan selatan, *volcanic arc* (busur vulkanik) yang berumur Kapur Akhir hingga pertengahan Eosen, sekuen batuan karbonat Eosen Akhir sampai Miosen Awal dan *volcanic arc* (busur vulkanik) Miosen Tengah hingga Kuartar (Smith dan Silver, 1991). Batuan plutonik berupa granitik dan diorit yang berumur Miosen Akhir hingga Pleistosen, sedangkan batuan vulkanik berupa alkali dan kalk-alkali berumur Paleosen hingga Pleistosen. Sulawesi pada bagian barat memiliki aktifitas vulkanik kuat yang diendapkan pada lingkungan *submarine* sampai *terrestrial* selama periode Pliosen sampai Kuartar Awal di bagian selatan, namun di Sulawesi Utara aktifitas vulkanik masih berlangsung sampai saat ini.

2. Sekis dan Batuan Sedimen Terdeformasi (*Central Schist Belt*). Bagian ini tersusun atas fasies metamorfik sekis hijau dan sekis biru. Bagian sebelah barat merupakan tempat terpisahnya antara sekis bertekanan tinggi dengan sekis bertemperatur tinggi, genes, dan batuan granitik (Smith dan Silver, 1991). Fasies sekis biru mengandung krosit, glaukofan, lawsonit, jadeit, dan aegerine

3. Kompleks Ofiolit (Ophiolite). Kompleks ini merupakan jalur ofiolit dan sedimen terimbrikasi serta *molasse*. Pada lengan bagian Tenggara Sulawesi (segmen selatan) didominasi oleh batuan ultramafic (Hamilton, 1979), harzburgit dan serpentin harzburgit (Silver dkk., 1983), sedangkan pada bagian lengan Timur Sulawesi (segmen utara) merupakan segmen ofiolit lengkap, yang berupa harzburgit, gabro, basalt dan sekuen dike diabas, yang merupakan hasil dari tumbukan antara platform Sula dan Sulawesi pada saat Miosen Tengah sampai Miosen Akhir, serta batuan sedimen pelagos dan klastik yang berhubungan dengan batuan ultramafic (Silver dkk., 1983). Berdasarkan pembagian di atas, maka daerah penelitian terletak pada Kompleks Ofiolit (*ophiolite*). Kompleks ini didominasi oleh batuan ultramafic, harzburgit dan serpentin harzburgit yang penyebarannya mulai dari Sulawesi Tengah memanjang hingga Sulawesi Tenggara.

2.1.1.2 Stratigrafi Regional

Stratigrafi regional Kecamatan Bahodopi merujuk pada peta geologi Lembar Bungku, Sulawesi yang berskala 1:250.000 (Simanjuntak dkk., 1993). Stratigrafi regional daerah Morowali dapat dikelompokkan dari yang tertua sampai ke muda sebagai berikut:

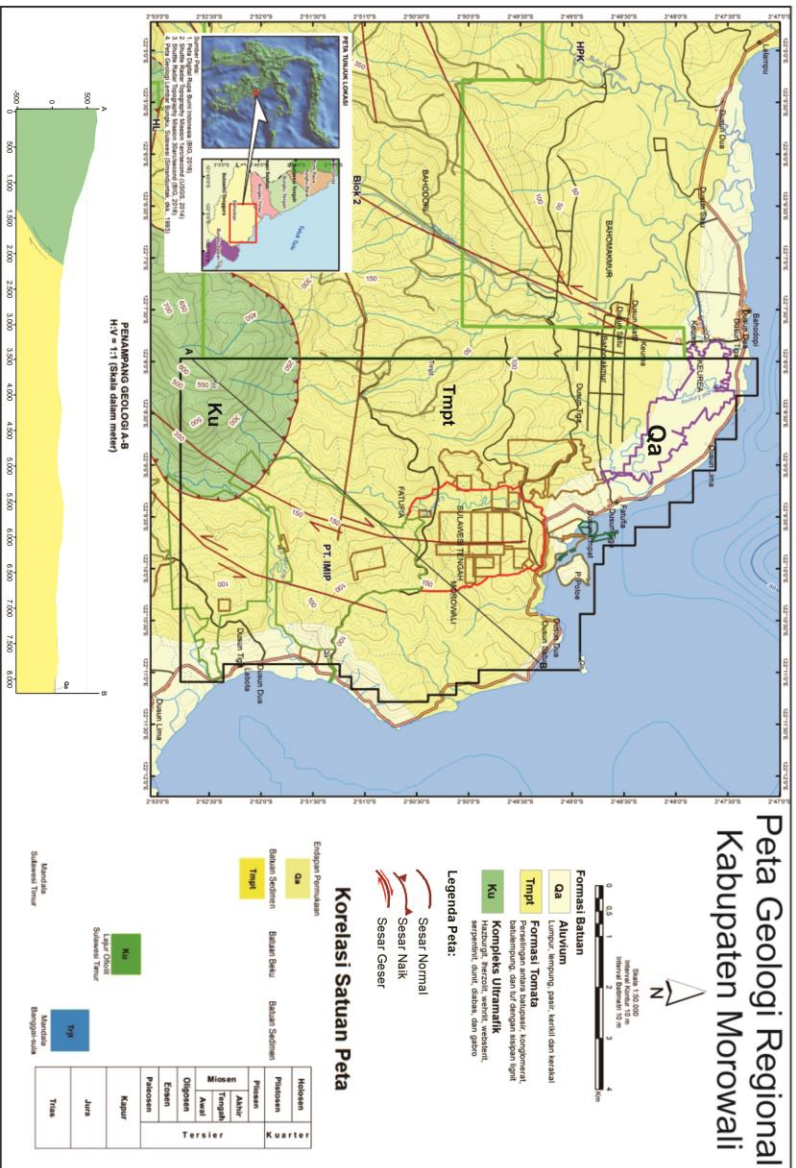
Batuan tertua daerah penyelidikan adalah Formasi Tokala (Trj) yang berumur Trias – Jura (sampai pertengahan Jura). Formasi ini terdiri dari perselingan batugamping klastika, batupasir sela, serpih, napal, dan lempung pasiran dengan sisipan argilit, kemudian di atasnya diendapkan Formasi Nanaka

yang berumur Jura, batuanannya terdiri atas serpih, konglomerat, batupasir mikaan dan lensa batubara.

Pada umur antara Jura bagian Atas-Pertengahan Kapur diendapkan Formasi Masiku (Jkm). Formasi Masiku ini terdiri dari serpih, filit, batusabak, batupasir dan batugamping.

Pada jaman Kapur diendapkan batuan beku dan batuan sedimen pembentuk Komplek Ultramafik (Ku) dan Formasi Matano (Km). Komplek ultramafik terdiri dari iherzolit, Harzburgit, wehrlit, diabas, websterit, serpentinit, dunit, dan gabbro. Sedangkan Formasi Matano (Km) terdiri dari napal, kalsilit, dan serpih dengan sisipan rijang radiolarian.

Kemudian pada masa Mio – Plio diendapkan batuan sedimen yaitu Formasi Tomata (Tmpt). Formasi Tomata ini terdiri dari perselingan antara batupasir, konglomerat, batulempung dan tuf dengan sisipan lignit. Pada masa Holosen diendapkanlah Aluvium (Qa) yang terdiri dari lempung, lumpur, pasir, kerikil dan kerakal



Gambar 2.2 Peta geologi regional daerah penelitian.

2.1.2 Metode Geofisika

2.1.2.1 Gempa Bumi

Gempabumi adalah peristiwa pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba. Peristiwa ini ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi penyebab terjadinya gempabumi dihasilkan oleh pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Pelepasan energi tersebut ditransmisikan ke segala arah sebagai gelombang (getaran) seismik, sehingga efeknya dirasakan sampai ke permukaan bumi. Lokasi pusat gempabumi yang merupakan awal pelepasan energi yang merambatkan gelombang atau getaran disebut fokus gempa atau hiposenter. Proyeksi hiposenter ke permukaan bumi disebut dengan episenter. Peta yang menggambarkan pola penyebaran dari gempabumi disebut peta seismisitas (Santoso, 2002).

Teori bingkas elastik (*elastic rebound theory*) menjelaskan bahwa terjadinya gempabumi dikarenakan oleh adanya proses patahan (retakan) pada kerak bumi sebagai hasil dari pelepasan stress elastik secara mendadak yang melampaui kekuatan batuan. Ketika sesar terjadi, sisi yang berseberangan menuju ke keadaan stabil dan melepaskan energi dalam bentuk panas dan vibrasi gelombang elastic. Jadi, menurut teori ini sesar adalah penyebab dari gempa bumi (Waluyo, 1992).

Fokus gempabumi (*earthquake focus*) ialah tempat energi gempabumi terlepas yang akan menyebabkan gempabumi. Kenyataan sumber gempa berasal dari gerak sesar membuktikan bahwa fokus gempa bukan merupakan satu titik, namun satu daerah yang membentang beberapa kilometer sepanjang sesar. Fokus gempa terletak di kedalaman, yang disebut hiposenter, yang berada di bawah permukaan. Untuk mengidentifikasi pusat gempa umumnya dilakukan dari episenter, titik di permukaan bumi hasil proyeksi tegak lurus di atas fokus. Dalam menentukan fokus perlu diketahui lokasi episenter dan hiposenternya (Abdullah dkk., 2006).

Gerakan tiba-tiba pada patahan dapat menimbulkan gerak awal gelombang yang bersifat kompresif dan dilatasi. Gerak kompresi ini akan terdistribusi di sekitar sumber gempa bumi dalam bentuk kuadran. Dua bidang yang saling tegak lurus memisahkan daerah kompresif dan dilatasi disebut sebagai bidang nodal. Salah satu dari bidang nodal ini adalah bidang patahan (*fault plane*) dan yang lain adalah bidang bantu (Waluyo, 1992).

Klasifikasi gempa bumi berdasarkan kedalaman fokus adalah sebagai berikut :

1. Gempa bumi dangkal (kedalaman 0-60 km)

Gempa bumi dangkal menimbulkan efek goncangan yang lebih dahsyat dibanding gempa bumi dalam, karena letak fokus lebih dekat ke permukaan bumi.

2. Gempa menengah (kedalaman 61-300 km)

Gempa bumi menengah terletak pada kedalaman di bawah kerak bumi, sehingga digolongkan sebagai gempa bumi yang tidak berasosiasi dengan

penampakan retakan atau patahan yang berada di permukaan, namun gempa bumi ini masih dapat diperkirakan mekanisme terjadinya.

3. Gempa bumi dalam (kedalaman >300 km)

Gempa bumi dalam sebenarnya sering terjadi, namun karena berada pada kedalaman lebih dari 300 km, maka manusia tidak bisa merasakan getarannya. (Fowler, 2015).

2.1.2.2 Prinsip Dasar Mikrotremor

Mikrotremor adalah getaran lingkungan (ambient vibration) yang berasal dari dua sumber utama, yaitu alam dan aktivitas manusia (Nakamura, 2000). Menurut (Okada, 2004), mikrotremor adalah getaran konstan dari permukaan bumi. Menurut Ibrahim dan Subardjo (2005), mikrotremor terjadi karena adanya getaran akibat orang berjalan, getaran mobil, getaran mesin-mesin pabrik, getaran angin, gelombang laut atau getaran alamiah dari tanah (Ibrahim dan Subardjo, 2005). Mikrotremor didominasi oleh gelombang permukaan yang digunakan untuk menentukan kurva dispersi gelombang Rayleigh tanpa memerlukan adanya sumber tiruan. Analisis mikrotremor, salah satunya dapat dilakukan dengan menggunakan metode HVSR (Horizontal to Vertical Spectrum Ratio), metode ini merupakan salah satu cara yang paling mudah dan paling murah untuk memahami sifat struktur lapisan bawah permukaan tanpa menyebabkan gangguan pada struktur alam tersebut. Metode HVSR merupakan metode yang digunakan sebagai indikator struktur bawah permukaan yang memperlihatkan hubungan antara perbandingan spektrum H/V dengan kurva eliptisitas dari gelombang permukaan Rayleigh. Perbandingan spektrum H/V adalah perbandingan antara spektrum amplitude Fourier komponen horizontal dan vertikal dari gelombang mikrotremor. Ellipticity Rayleigh merupakan perbandingan spectral dari amplitude komponen horisontal terhadap komponen vertikal. Kurva Eliptisitas digunakan dalam teknik kegempaan untuk menentukan frekuensi dasar dari lokasi gempa dan sangat responsif terhadap lokasi dan kedalaman dari suatu lapisan (Cristanty, 2011).

Mikrotremor mempunyai frekuensi yang lebih tinggi dari frekuensi gempa bumi, periodenya kurang dari 0,1 detik yang secara umum antara 0,05-2 detik dan untuk mikrotremor periode panjang bisa mencapai 5 detik, sedangkan amplitudonya berkisar antara 0,1-2,0 mikron (Sutrisno, 2014). Mikrotremor juga terpengaruh oleh adanya aktivitas manusia yang bisa menimbulkan getaran, namun hal ini berpengaruh sangat kecil terhadap mikrotremor dengan frekuensi dibawah 0,1 Hz, dan sebaliknya. Sumber mikrotremor yang berasal dari alam (gelombang laut, kondisi meteorologi dengan skala luas) memiliki frekuensi rendah (frekuensi dibawah 1 Hz). Pada frekuensi sedang (1-5 Hz) sumber mikrotremor berasal dari alam (kondisi meteorologi lokal) maupun aktifitas manusia (kepadatan penduduk, kebisingan), dan pada frekuensi tinggi

(diatas 5 Hz) sumber utamanya ialah aktifitas manusia. Table 2.1 berikut adalah daftar perbedaan jenis sumber mikrotremor berdasarkan nilai frekuensinya menurut (Gutenberg, 1958) dan (Asten, 1978).

Tabel 2.1 Perbedaan jenis sumber gelombang mikrotremor menurut Gutenberg & Asten

No	Sumber Mkrotremor	Gutenberg	Asten
1	Gelombang laut yang menerjang sepanjang bibir pantai	0,05-0,1 Hz	0,2-1,2 Hz
2	Termor Vulkanik	2-10 Hz	-
3	Kepadatan Penduduk	1-100 Hz	1,4-30 Hz
4	Gangguan Meteorologi skala besar (<i>Monsoon</i>)	0,1-0,25 Hz	0,16-0,5 Hz

2.1.2.3 Analisis Spektrum H/V

Analisis spektrum H/V atau yang sering disebut dengan HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) pertama kali ditemukan dari catatan gerakan kuat diberbagai tempat di Jepang. Di tanah yang lunak, gerakan horizontal lebih besar daripada gerakan vertikal. Disisi lain, ditanah yang keras, baik gerak horizontal dan gerak vertikal mirip satu sama lain baik pada nilai maksimum dan minimum gelombang. (Nakamura dkk., 2000) telah mengembangkan metode HVSR pada data mikrotremor untuk karakteristik pada suatu tempat. Pengembangan tersebut didukung oleh (Tuladhar, 2002) yang berhasil memaparkan bahwa Spektrum Fourier komponen horizontal atau vertikal data mikrotremor diketahui berhubungan dengan sumber eksitasi, tidak stabil dan tidak dapat merepresentasikan kondisi setempat. Tetapi, rasio dari spektrum Fourier vertikal terhadap horizontal diketahui stabil dan hasilnya tidak dipengaruhi sumber getaran. Hal ini sesuai dengan (Nakamura, 1989) yang memperlihatkan bahwa efek sumber bisa diminimalisasi dengan normalisasi amplitude spektrum horizontal dan amplitude spektrum vertikal. (Tuladhar, 2002) menyebutkan bahwa dalam penggunaan metode ini dibutuhkan beberapa asumsi yaitu bahwa : (1) sebagian besar mikrotremor terdiri atas gelombang geser; (2) komponen vertikal dari suatu gelombang tidak diamplifikasikan lapisan tanah lunak dan hanya komponen horizontal yang teramplifikasi; (3) secara geologi, bedrock dianggap menyebar ke segala arah; (4) Gelombang Rayleigh dianggap sebagai gangguan (*noise*), sehingga diperlukan eliminasi efek gelombang Rayleigh. (Nakamura, 1989) beralasan bahwa efek bencana gempa bumi terutama disebabkan oleh gelombang body dan jika gelombang Rayleigh menyebabkan kerusakan maka kerusakan harus diminimalkan. Hal ini menyatakan bahwa pemahaman terhadap fenomena

energy gelombang body yang terperangkap dalam lapisan permukaan yang lunak itu penting.

Dari sudut pandang ini lah, gelombang Rayleigh dapat dikatakan sebagai noise dan diperlukan untuk menghilangkan efeknya. Hal ini dimungkinkan untuk memahami bahwa lapisan permukaan berperilaku sebagai filter high-pass untuk gelombang Rayleigh yang merambat dilapisan permukaan bumi. Gelombang Rayleigh tidak mampu berpropagasi dalam rentang frekuensi dibawah frekuensi dominan tanah permukaan (F_0 Hz) dan dapat mengirimkan puncak energi disekitar frekuensi dari kumpulan kecepatan minimum ($2 F_0$ Hz). Maka dari itu efek dari multiple refleksi dari gelombang SH sebagian terdiri dari sekitar F_0 Hz (Sutrisno, 2014).

2.1.2.4 Pengolahan HVSR

Pengolahan ini dilakukan untuk mendapatkan perbandingan spectrum horizontal terhadap vertikal (H/V) dari semua jenis sinyal getaran (ambient noise gempa bumi, cuaca, maupun aktifitas manusia). Untuk pemrosesan H/V, data yang digunakan harus mempunyai 3 komponen sinyal yaitu North-South, East-West dan vertical, serta sampel yang cukup (dalam waktu) agar bisa diolah. Dari hasil akuisisi data di lapangan tersebut diperoleh tiga komponen sinyal dalam fungsi waktu yang kemudian dilakukan *picking* untuk memilih data atau menghilangkan noise yang dihasilkan seperti dari pergerakan manusia binatang dan gangguan lainnya. Data dibagi dalam beberapa window dengan frekuensi sampling 250 Hz. Berdasarkan (SESAME, 2004), disarankan pada penentuan panjang window memiliki minimal persyaratan :

$$lw = \frac{10}{f_0} \quad (2.1)$$

Dengan lw adalah panjang window dan f_0 adalah frekuensi resonansi, sehingga memiliki minimal 10 cycle signifikan pada masing-masing window.

(SESAME, 2004) menganjurkan dalam analisis HVSR digunakan minimal 10 window stasioner antara 20-50 detik dengan syarat non-overlapping. Kemudian setiap window dilakukan analisis spektrum Fourier yang berfungsi mengubah data mikrotremor awal yang berupa domain waktu (time series) menjadi domain frekuensi. Algoritma Fast Fourier Transform (FFT) digunakan dalam analisis spektrum Fourier karena data awal akuisisi tersaji dalam bentuk diskrit. Hasil dari proses FFT masih berupa komponen yang belum halus, sehingga perlu dilakukan filtering. Filter yang dianjurkan adalah filter smoothing Konno dan Ohmachi dengan koefisien bandwidth sebesar 40 dan cosine taper 5%.

Persamaan analitik Smoothing Konno dan Ohmachi secara umum dituliskan sebagai berikut :

$$Wp(f) = \frac{\sin \left[(\log_{10} \left(\frac{f}{f_0} \right))^b \right]}{\left[(\log_{10} \left(\frac{f}{f_0} \right))^b \right]^4} \quad (2.2)$$

Dimana $Wp(f)$ adalah fungsi pembobotan, F adalah frekuensi f_0 adalah frekuensi pusat yang di-*smoothing* dan B adalah keofisien *banwidth*.

Setelah dilakukan FFT, *filtering* dan *smoothing*, maka selanjutnya dilakukan penggabungan antara komponen horizontal dan vertikal kedalam analisis HVSR berupa spectral rasio amplitude spektrum Fourier dari persamaan berikut :

$$\left[\frac{\sqrt{FNS(T)^2 + FEW(T)^2}}{FZ(T)} \right] \quad (3.3)$$

Dengan $R(T)$ adalah spektrum rasio vertikal terhadap horizontal, FNS adalah spektrum fourier di NS dan FEW adalah spektrum fourier di EW serta FZ adalah spektrum fourier di Z (vertikal). Kemudian rata-rata spektrum HVSR diplot untuk setiap titik pengukuran setelah diperoleh sepektrum HVSR masing-masing window.

2.1.2.5 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Mikrotremor

Dalam penentuan daerah rawan bencana berdasarkan analisis data mikrotremor didasarkan pada parameter tertentu. Parameter tersebut didasarkan pada pertimbangan antara lain getaran tanah, faktor penguatan (amplifikasi) dan frekuensi dominan. Frekuensi dominan adalah nilai frekuensi yang kerap muncul (dominan) sehingga dikatakan sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan di wilayah tersebut. Nilai frekuensi dapat menunjukkan jenis dan karakteristik batuan tersebut. (Lachet dan Brad, 1994) melakukan uji simulasi dengan 6 model struktur geologi sederhana yang menggunakan kombinasi variasi kontras kecepatan gelombang geser dan ketebalan lapisan soil (Arifin dkk., 2013). Hasil simulasi menunjukkan hasil puncak frekuensi berubah sesuai dengan variasi kondisi geologi .

Tabel 2.2 Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan (f_0) mikrotremor oleh Kanai.

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Type	Jenis			
Type IV	Jenis I	6,67-20 Hz	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>Hard sandy, gravel</i> , dll	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, di dominasi oleh batuan keras

Tipe III	Jenis II	10-4 Hz	Batuan alluvial, dengan ketebalan 5m. Terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i> dll	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5-10 meter
Tipe II	Jenis III	2,5-4 Hz	Batuan alluvial, dengan ketebalan >5m, terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i> dll	Ketebalan sedimen permukaan termasuk kategori tebal, sekitar 10 – 30 meter
Tipe I	Jenis IV	<2,5 Hz	Batuan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, dll. Dengan kedalaman 30m atau lebih	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal

2.1.2.5 Indeks Kerentanan Tanah

Indeks kerentanan tanah (K_g) ialah suatu nilai yang menghubungkan nilai frekuensi natural dan amplitude maksimal. Indeks kerentanan tanah ini digunakan untuk mengestimasi tanah yang rentan mengalami amplifikasi oleh peristiwa gempa bumi (Daryono, 2011). Menurut penelitian (Warnana dkk., 2011), indeks kerentanan tanah (K_g) ialah parameter yang mengkombinasikan fekuensi natural dan amplitude maksimal yang dapat menggambarkan kerusakan material akibat dampak gempabumi. Dengan demikian, nilai K_g mampu mencerminkan efek lokal serta dapat dianggap sebagai indikator yang mungkin berguna dalam menentukan titik kerentanan tanah. Nilai indeks kerentanan tanah (K_g) dapat ditentukan menggunakan persamaan :

$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (2.3)$$

Dimana A_0 adalah nilai amplitude maksimal dan f_0 adalah nilai frekuensi dominan kurva HVSR.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Perangkat dan Data

Perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini yaitu 1 unit *laptop*, Seismometer LE-3D/5sec, Data Logger SARA SL-06, Aki, papan tulis putih, dan GPS. Sedangkan perangkat lunak yang digunakan yaitu Geopsy, Surfer15, serta ArcGIS. Penelitian pada tugas akhir ini menggunakan data mikrotremor berjumlah 30 titik yang tersebar di Kabupaten Morowali.

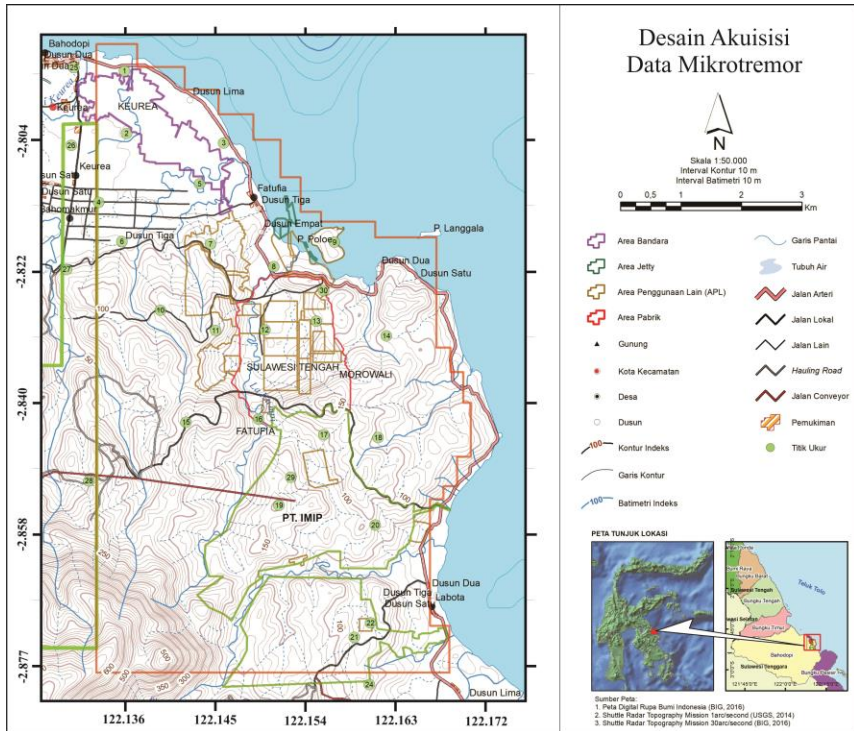
3.2 Desain Pengukuran Mikrotremor

Desain akuisisi data mikrotremor pada penelitian ini disebar sebanyak 30 titik, dengan interval jarak 1-5km. Selain dengan jarak, titik ini dipilih berdasarkan medan lokasi pengukuran. Hal ini dikarenakan alat Seismometer harus berada pada kondisi setimbang. Titik-titik tersebut tersebar di kecamatan Bahodopi dengan rincian titik seperti tabel 3.1

Tabel 3.1 Tabel Lokasi Titik Penelitian

Titik	Lokasi	Titik	Lokasi
MKT-01	SDN Keurea	MKT-16	Barat Mess
MKT-02	Utara Bandara	MKT-17	Lereng Bukit
MKT-03	Kebun Warga	MKT-18	Lereng Galian
MKT-04	Kebun Sawit	MKT-19	Belakang Gudang Cat
MKT-05	Timur Bandara	MKT-20	Atas Rusunawa
MKT-06	Dekat Rumah Warga	MKT-21	Tenggara Poltek IMIP
MKT-07	Stockpile Batubara	MKT-22	Utara Poltek IMIP
MKT-08	Stockpile Batubara	MKT-23	Tidak terjangkau
MKT-09	Dekat Wisma	MKT-24	Selatan Poltek IMIP
MKT-10	Hutan Akses	MKT-25	Belakang Masjid
MKT-11	Gudang Kayu	MKT-26	Selatan Puskesmas
MKT-12	Pusat Industri	MKT-27	Dekat Rumah Warga
MKT-13	Pusat Industri	MKT-28	Hutan
MKT-14	Pusat Industri	MKT-29	Belakang Mess
MKT-15	Hutan	MKT-30	Halaman Wisma Kayu

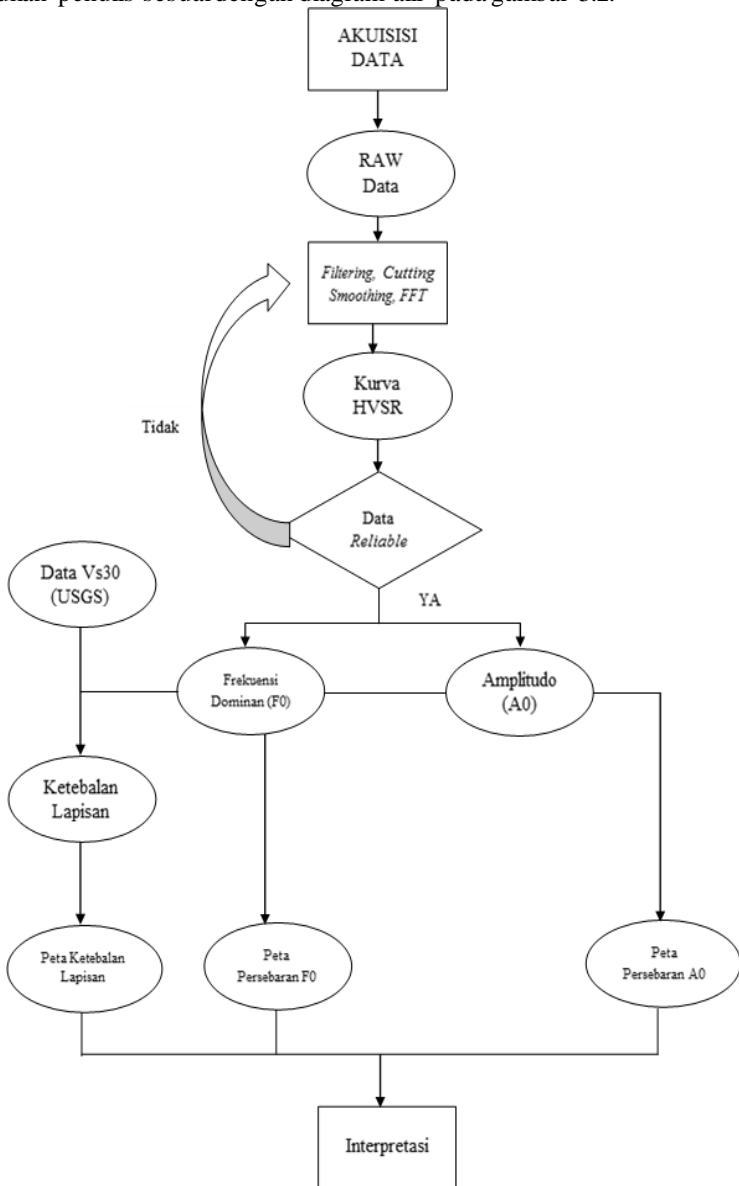
Visualisasi desain survey dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Desain akuisisi data mikrotremor setelah di overlay dengan peta topografi

3.3 Diagram Alir Penelitian

Prosedur pengolahan data mikrotremor dari awal hingga interpretasi yang dilakukan penulis sesuai dengan diagram alir pada gambar 3.2.

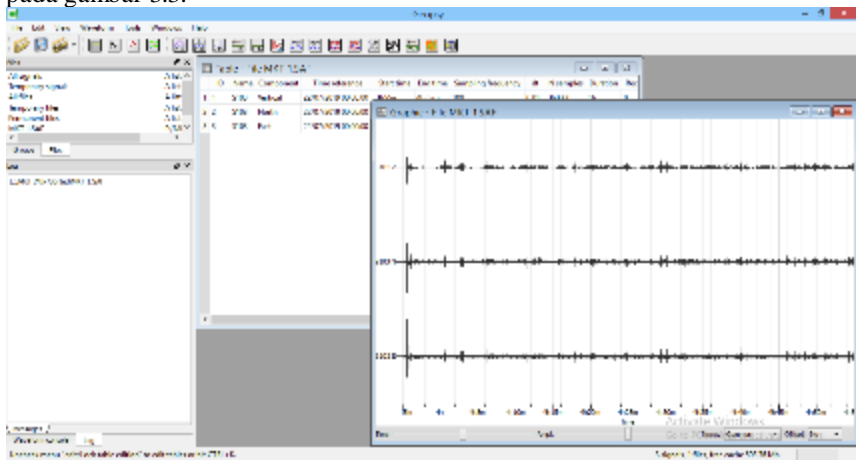


Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

Alur pengolahan data mikrotremor dilakukan dari *Fast Fourier Transform* (FFT), *HVSR processing*, analisis kurva HVSR, plot peta persebaran frekuensi dominan dan amplitude kurva, perhitungan nilai indeks kerentanan tanah (Kg). Adapun penjelasan langkah prosedur dijelaskan pada bagian-bagian dibawah ini.

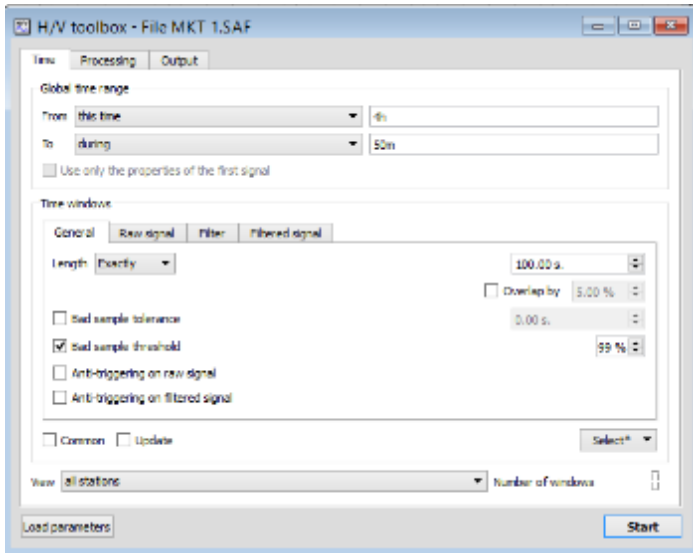
3.3.1 *Fast Fourier Transform* (FFT) dan *HVSR Processing*

Proses pertama yaitu *input raw data* yang berformat *time series*. Format *time series* ditunjukkan dengan ekstensi *.SAF* pada data. Pada tampilan pertama *Geopsy*, dipilih menu *Input Signal* untuk input *raw data*. Apabila data sudah di *input* sesuai lokasi *file* pada komputer, tampilan *Geopsy* akan berubah seperti pada gambar 3.3.



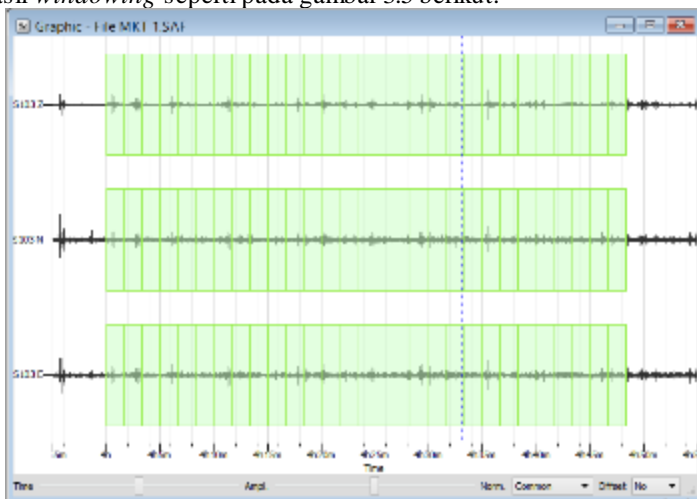
Gambar 3.3 Tampilan awal perangkat lunak *Geopsy*

Setelah input data selesai, dilanjutkan ke proses *Filtering* yang ada pada menu *Waveform*. Parameter yang diinputkan adalah filter *Low Pass* 5 hz, dengan *Order of Butterworth's filter* sebesar 3 satuan. Namun perlu diketahui parameter ini dapat berubah sesuai dengan karakteristik *waveform* yang diolah. Pada kasus tertentu sinyal akan didominasi frekuensi tinggi karena dekat dengan pusat kegiatan manusia. Setelah dilakukan *filtering* maka tahap selanjutnya adalah dilakukan *HVSR Processing*. Proses ini dilakukan melalui menu *H/V* pada *toolbar*. Setelah muncul jendela prosesing, maka dilakukan *signal cutting* selama 5 menit di awal dan 5 menit di akhir pengukuran. Hal ini ditujukan untuk meminimalisasi kesalahan. Kemudian untuk proses *windowing* atau pemilihan sinyal digunakan parameter panjang *window* yang sesuai dengan persamaan 2.1.



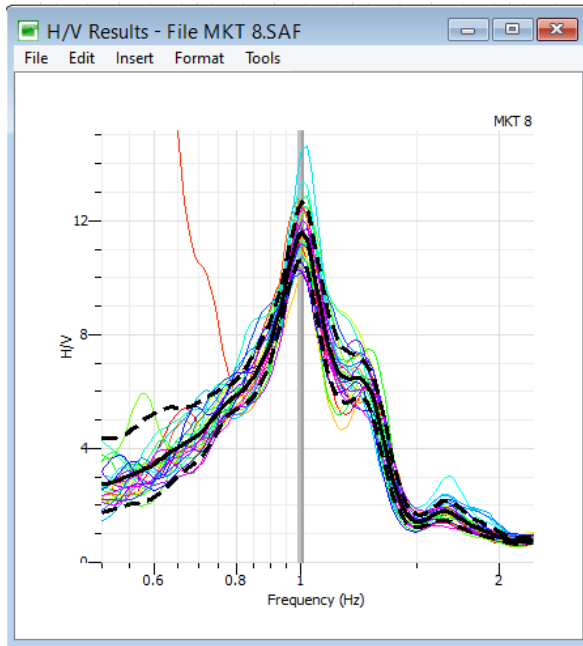
Gambar 3.4 Setting parameter FFT.

Proses berikutnya setelah parameter *window* diatur adalah memilih *window* pada sinyal dengan menu *select* dan *add*. Sehingga akan didapatkan tampilan dari hasil *windowing* seperti pada gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Hasil *Windowing* pada sinyal MKT-01

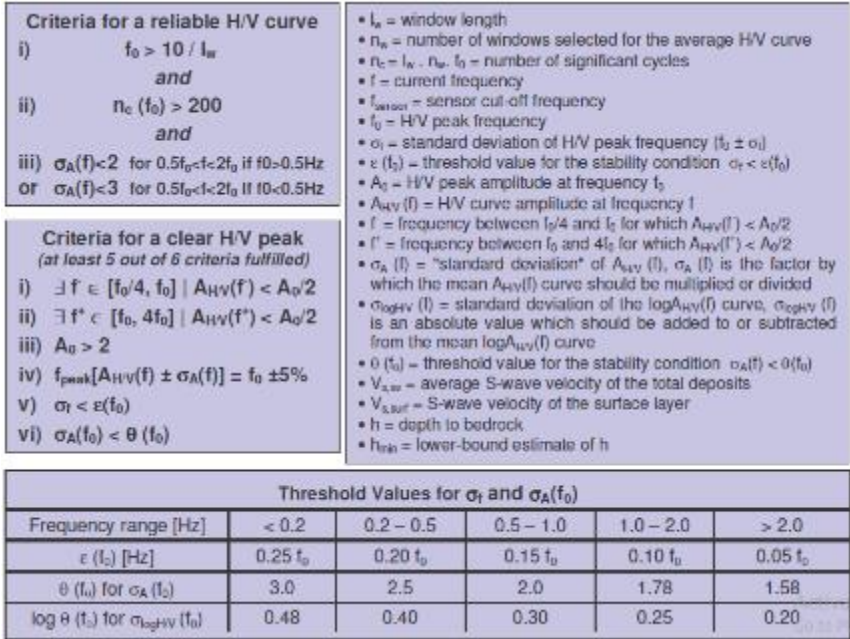
Setelah proses *windowing* selesai maka dilakukan proses perhitungan yang membandingkan spectrum horizontal dan spectrum vertical. Setiap window dilakukan analisis spektrum Fourier yang berfungsi mengubah data mikrotremor awal berupa domain waktu (time series) menjadi domain frekuensi. Algoritma Fast Fourier Transform (FFT) digunakan dalam analisis spektrum Fourier karena data awal akuisisi dalam bentuk diskrit. Hasil dari proses FFT masih berupa komponen yang belum halus, maka dari itu dilakukan filtering. Filter smoothing Konno dan Ohmachi dengan koefisien bandwidth sebesar 40 dan cosine taper 5%. Selanjutnya dilakukan penggabungan komponen horizontal dan vertical kedalam analisis HVSr berupa *spectral ratio* amplitude spectrum Fourier. Proses inilah dinamakan *Horizontal to vertical Spektral Ratio*. Selanjutnya rata-rata spectrum HVSr diplot untuk setiap titik pengukuran setelah diperoleh spectrum masing-masing *window* seperti pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Hasil kurva HVSr

Dari kurva diatas, nilai frekuensi dominan dan nilai amplifikasi dapat ditentukan beserta standart deviasinya. Pada gambar tersebut kurva berwarna hitam menunjukkan nilai rata-rata dari spectrum HVSr, sedangkan garis berwarna hitam putus-putus adalah nilai dari standart deviasinya. Nilai frekuensi dominan dan amplitudonya ditunjukkan oleh blok vertical berwarna abu-abu

pada kurva HVSR. Namun hasil dari kurva HVSR harus disesuaikan dengan tabel *reliability* yang telah dikemukakan (SESAME, 2004). Tabel reliabilitas tersebut dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.6 Hasil kurva HVSR

Hal ini dilakukan agar kurva HVSR dapat dipertanggungjawabkan kesesuaiannya dengan keadaan di alam sesungguhnya. Apabila masih belum *reliable*, maka harus dilakukan *processing* ulang sampai didapatkan kurva yang *reliable*. Setelah langkah-langkah diatas dilanjutkan, maka selanjutnya data amplitude maksimal dan nilai frekuensi dominan dimasukkan kedalam tabel, yang nanti selanjutnya akan dilakukan plotting menggunakan *software SURFER13*.

3.3.2 Perhitungan Nilai Ketebalan Sedimen dan Indeks Kerentanan Tanah

Ketebalan lapisan sedimen dapat diestimasi menggunakan persamaan hubungan antara frekuensi natural (f_0) dan amplitude maksimal (A_0). Menurut penelitian (Warnana dkk., 2011) ketebalan lapisan sedimen (h) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$f_0 = \frac{V_{S30}}{4h} \tag{3.1}$$

Dimana V_{s30} adalah kecepatan geser pada kedalaman 30 meter dan f_0 adalah frekuensi natural. Data V_{s30} yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang diambil dari *website* USGS yang sudah dilampirkan. (USGS, 2019)

Analisis kerentanan tanah perlu dilakukan untuk menghubungkan antara nilai frekuensi dan amplifikasi. Sehingga dapat dilakukan mikrozonasi dengan menggunakan metode HVSR. Menurut penelitian (Warnana dkk., 2011), nilai frekuensi dan puncak HVSR tidak terikat atau saling independen. Oleh sebab itu dalam mikrozonasi perlu variabel yang menghubungkan keduanya yaitu indeks kerentanan tanah (K_g). Parameter indeks kerentanan tanah diperkenalkan oleh (Nakamura, 1989) yaitu pada persamaan 2.2, dengan A_0 dan f_0 adalah amplifikasi dan frekuensi HVSR. Parameter indeks kerentanan tanah (K_g) mampu mencerminkan efek lokal dan dapat digunakan sebagai indikator dalam menentukan titik lemah suatu lereng.

BAB IV HASIL

4.1 Analisis Data Penelitian

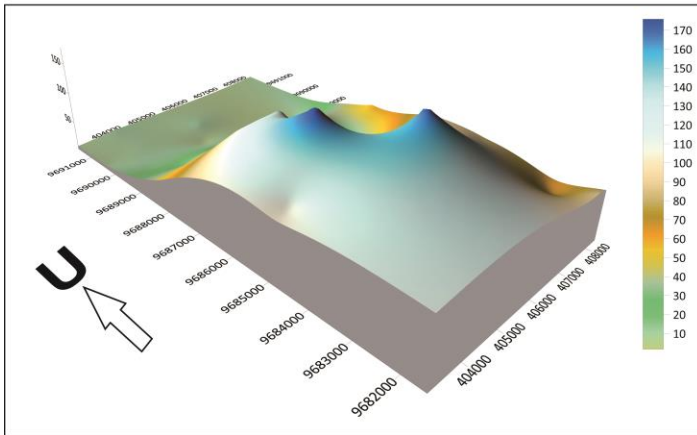
Data hasil penelitian adalah berupa kurva HVSR yang nantinya akan dianalisis lebih lanjut pada subbab berikutnya. Analisis kurva HVSR dapat digunakan untuk mikrozonasi kerusakan bangunan akibat adanya gempa bumi. Menurut (Sungkono dkk., 2011) di dalam penelitiannya mengatakan bahwa kerusakan bangunan akibat dampak dari gempabumi terjadi pada titik yang memiliki frekuensi natural (f_0) tanah yang rendah dan berasosiasi dengan tanah yang memiliki factor amplifikasi (A_0) yang tinggi. Data koordinat titik dan elevasinya diperoleh dari pengukuran dilapangan. Data nilai frekuensi dominan dan amplitude maksimal kurva HVSR diperoleh dari analisis kurva HVSR. Serta data ketebalan lapisan sedimen diperoleh dari perhitungan menggunakan persamaan 3.1. Sedangkan indeks kerentanan tanah diperoleh dari perhitungan menggunakan persamaan 3.2. Data-data tersebut dituangkan kedalam tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Data hasil penelitian

Titik	X	Y	Z	A0	F0	H	Kg
MKT 1	122.137	-2.791	10	12.437	1.224	55.7	126.376
MKT 2	122.137	-2.800	9	9.877	0.936	68.5	104.234
MKT 3	122.152	-2.801	11	6.935	1.510	38.3	31.853
MKT 4	122.133	-2.810	16	12.648	1.076	69.5	148.661
MKT 5	122.148	-2.808	5	5.145	0.905	68.8	29.252
MKT 6	122.137	-2.816	29	6.063	1.128	75.5	32.590
MKT 7	122.150	-2.816	26	4.934	3.129	28.6	7.780
MKT 8	122.159	-2.820	10	11.236	1.007	82.9	125.368
MKT 9	122.168	-2.816	8	5.833	1.132	79.0	30.060
MKT 10	122.142	-2.826	102	3.149	4.150	26.9	2.389
MKT 11	122.150	-2.829	120	5.797	3.515	32.5	9.559
MKT 12	122.158	-2.829	5	7.720	1.011	83.1	58.950
MKT 13	122.165	-2.828	1	4.467	1.105	80.1	18.056
MKT 14	122.176	-2.830	59	3.635	1.318	77.3	10.027
MKT 15	122.146	-2.843	177	3.865	6.530	14.0	2.288
MKT 16	122.157	-2.842	42	4.732	2.750	41.2	8.142

MKT 17	122.166	-2.845	75	2.254	0.857	84.5	5.926
MKT 18	122.174	-2.845	86	12.823	0.731	84.9	224.934
MKT 19	122.160	-2.855	173	3.294	4.980	20.0	2.179
MKT 20	122.174	-2.858	86	3.816	4.109	13.2	3.544
MKT 21	122.171	-2.874	66	2.648	6.219	18.1	1.128
MKT 22	122.173	-2.872	63	13.119	2.503	45.0	68.759
MKT 24	122.173	-2.881	86	3.609	2.775	39.8	4.693
MKT 25	122.130	-2.790	7	8.667	1.930	35.3	38.922
MKT 26	122.129	-2.802	8	16.093	2.210	31.7	117.185
MKT 27	122.128	-2.820	47	2.673	11.520	7.17	0.620
MKT 28	122.132	-2.851	106	3.171	7.658	16.9	1.313
MKT 29	122.162	-2.851	104	2.770	3.714	26.9	2.066
MKT 30	122.166	-2.823	45	3.080	3.795	22.7	2.500

Dari data diatas diperoleh penampang yang menggambarkan titik pengukuran dan elevasinya seperti pada gambar 4.1 berikut.

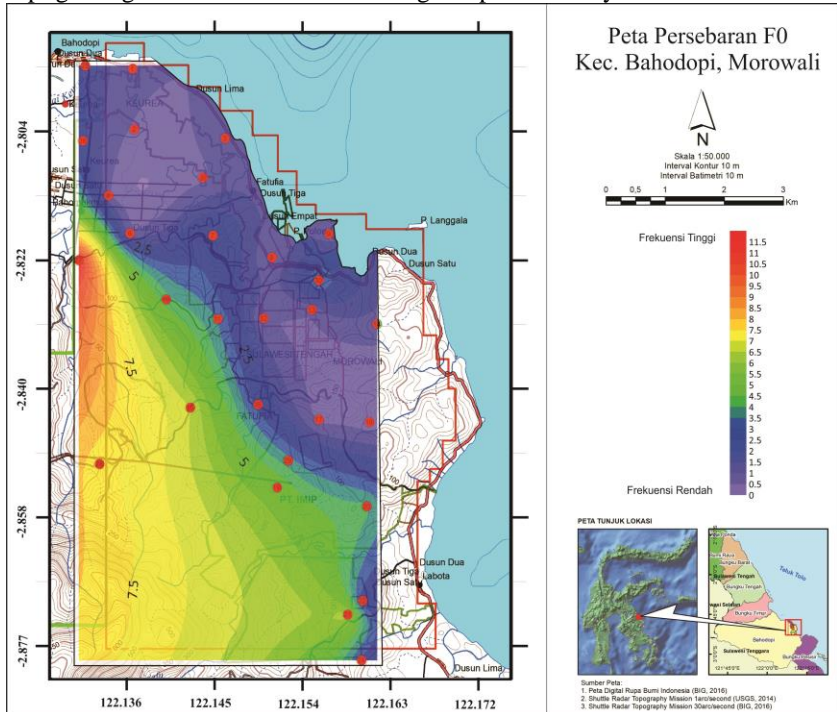


Gambar 4.1 Topografi daerah penelitian

Elevasi daerah penelitian berada pada rentang 1 - 177 meter diatas permukaan air laut (mdpl). Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa topografi daerah penelitian berupa perbukitan yang melandai menuju ke arah utara – timurlaut. Hal ini sudah sesuai dengan peta geologi dan peta topografi yang telah dicantumkan pada bab sebelumnya.

4.2 Analisis Frekuensi Dominan

Hasil dari analisis kurva HVSR adalah nilai frekuensi dominan (f_0). Frekuensi yang dominan atau yang bisa disebut dengan frekuensi natural tanah inilah yang mencerminkan karakteristik tanah di daerah setempat (Juan Pandu dkk., 2012). Pada daerah penelitian nilai frekuensi dominan berkisar antara 0,731 – 11,520 Hz. Nilai frekuensi dominan tersebut di-*overlay* dengan peta topografi agar lebih mudah dalam menginterpretasikannya.



Gambar 4.2 Peta persebaran F_0 yang di-*overlay* dengan peta topografi.

Berdasarkan peta topografi (gambar 4.1) menunjukkan bahwa daerah penelitian memiliki elevasi yang semakin rendah ke arah timur laut, sedangkan berdasarkan peta persebaran f_0 diatas (gambar 4.2) tren dari nilai frekuensi berbanding terbalik dengan topografi. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi elevasi atau topografi nilai frekuensi semakin menurun. Jadi pada penelitian ini nilai dari frekuensi dikontrol oleh topografi yang erat hubungannya dengan ketebalan sedimen atau kedalaman bedrock atau. Hal ini sudah sesuai dengan penelitian Nakamura yang menunjukkan bahwa frekuensi natural HVSR dipengaruhi oleh dua parameter yaitu kecepatan gelombang geser dan kedalaman *bedrock*. Kedalaman *bedrock* berbanding terbalik dengan frekuensi natural sesuai yang dikemukakan (Warnana dkk., 2011). Hal ini juga

didukung oleh penelitian (Sungkono dkk., 2011). Sedangkan (Sutrisno, 2014) menyatakan bahwa frekuensi natural erat hubungannya dengan kedalaman bedrock. Keduanya memiliki hubungan berbanding terbalik, artinya nilai frekuensi rendah berasosiasi dengan kedalaman bedrock yang dalam. Jadi berdasarkan analisis frekuensi dominan dapat dikatakan bahwa lapisan sedimen lunak semakin menebal ke arah timur laut.

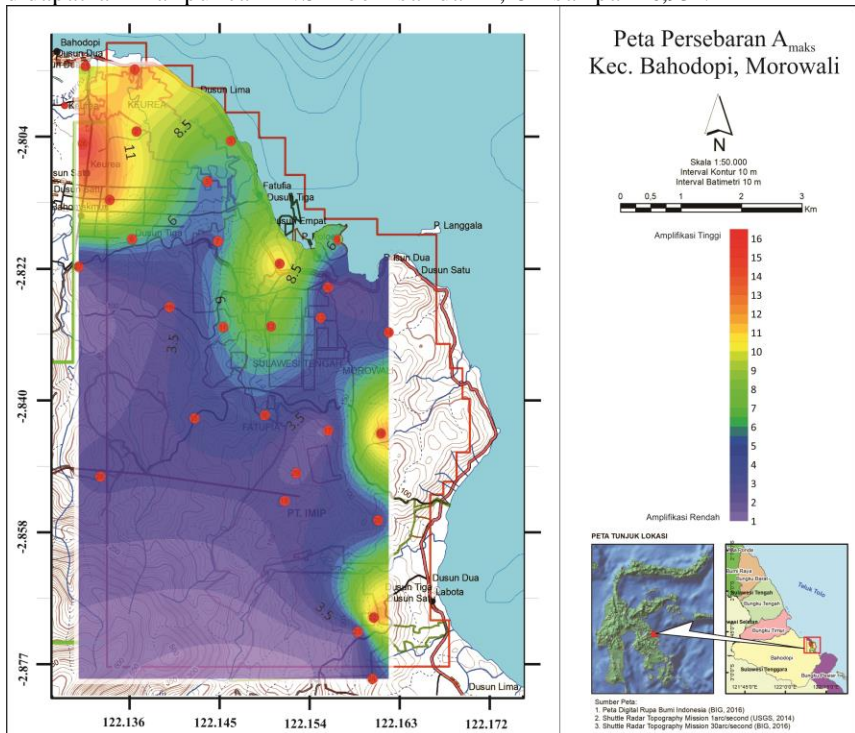
Menurut peta geologi lembar Bungku daerah penelitian didominasi oleh Formasi Tomata dan Aluvium. Formasi Tomata (Tmpt) ini terdiri dari perselingan antara konglomerat, batupasir, batulempung dan tuf dengan sisipan lignit. Sedangkan Aluvium (Qa) yang terdiri dari lempung, lumpur, pasir, kerikil dan kerakal. Menurut (Firman dkk., 2014) frekuensi natural erat kaitannya dengan kondisi geologi daerah penelitian. Artinya daerah yang memiliki frekuensi natural rendah dimungkinkan memiliki karakteristik batuan lunak dan ketebalan sedimen yang tinggi sehingga daerah ini menjadi rawan untuk terjadinya multirefleksi gelombang yang menyebabkan tingginya tingkat kerawanan terhadap bencana gempa bumi. Hal ini sudah sesuai dengan peta geologi yang sudah disajikan sebelumnya.

Merujuk pada tabel 2.2 klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan menurut Kanai, daerah penelitian sebagian besar memiliki frekuensi rendah yang termasuk ke dalam klasifikasi tanah tipe I, dimana pada daerah lereng bukit dan pesisir pantai dimungkinkan memiliki ketebalan sedimen permukaannya yang sangat tebal. Sedangkan daerah yang memiliki nilai frekuensi tinggi termasuk dalam kategori klasifikasi tanah tipe IV memiliki ketebalan permukaan sedimen yang tipis dan didominasi oleh batuan keras. Menurut Kanai, pada tanah tipe ini batuan penyusunnya berupa batuan tersier atau lebih tua, terdiri dari batuan *hard sandy* dan *gravel*. Jika ditinjau dari lembar peta geologi daerah ini termasuk bagian dari Formasi Tomata dan Kompleks Ultramafik. Litologi penyusun dari formasi-formasi tersebut diantaranya perselingan antara batu pasir, konglomerat, batu lempung, dan tuf dengan sisipan lignit. Sedangkan untuk kompleks ultramafik disusun oleh *hazburgit*, *lerzolit*, *wherlit*, *websterit*, *serpentinit*, *dunit*, *diabas* dan *gabro*.

4.3 Analisis Amplitudo Maksimal (A0)

Amplitudo maksimal berhubungan dengan perbandingan antara kontras impedansi lapisan permukaan dengan lapisan dibawahnya. Perubahan nilai puncak HVSR suatu daerah disebabkan karena perubahan sifat fisik batuan seperti terjadinya pelapukan. (Mulyatno dkk., 2013) menyatakan pada batuan yang sama, nilai puncak HVSR dapat bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi dan pelapukan pada tubuh batuan tersebut. Sedangkan menurut (Sungkono dkk., 2011) puncak kurva HVSR dipengaruhi oleh V_s , densitas, V_p , dan Q_s sehingga dapat diketahui bahwa daerah yang rawan kerusakan bangunan akibat getaran tanah ialah daerah yang permukaannya tersusun atas sedimen lunak (gambut, pasir, pasir lanauan) dengan *bedrock* yang keras.

Karena pada geologi yang seperti ini, kontras impedansinya besar. Sesuai dengan (Sungkono dkk., 2011) menyatakan bahwa daerah yang rawan terkena guncangan gempa, terjadi pada daerah yang memiliki faktor amplifikasi getaran gempa berada pada lapisan sedimen lunak dengan bedrock yang keras. Keadaan tersebut menyatakan bahwa terdapat perbedaan kontras impedansi yang tinggi antara lapisan sedimen dan bedrock yang besar. Pada lapisan sedimen yang lunak akan memiliki durasi penjarangan gelombang dengan waktu yang lama, dan akan memperbesar factor nilai amplifikasinya. Pada penelitian ini didapatkan nilai puncak HVSR berkisar dari 2,254 sampai 16,932.



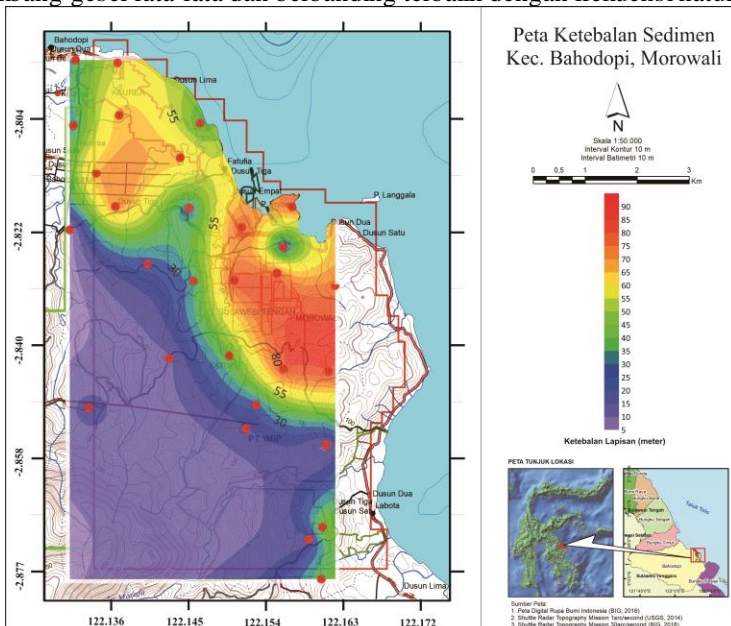
Gambar 4.3 Peta persebaran Amplitudo HVSR yang di-overlay dengan peta topografi.

Menurut (Nakamura dkk., 2000) nilai amplifikasi yang berbahaya berada pada nilai >3 dan berkorelasi dengan frekuensi yang rendah. Daerah yang memiliki nilai amplifikasi yang tinggi dimungkinkan akan terjadi penguatan gelombang yang lebih besar daripada daerah yang memiliki nilai amplifikasi yang kecil. Pada daerah yang berada pada zona amplifikasi tinggi jika terjadi gempa dimungkinkan dapat terjadi potensi guncangan gempa yang kuat. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa pada penelitian ini didominasi oleh nilai puncak HVSR yang tinggi. Menurut (Nakamura dkk., 2000) pada penelitian

(Sutrisno, 2014) parameter puncak HVSR yang dapat merusak bangunan adalah berkisar antara > 3 dan berasosiasi dengan frekuensi rendah. Berdasarkan pernyataan tersebut maka dapat disimpulkan bahwa di daerah penelitian dapat dikategorikan sebagai daerah yang rawan apabila ada getaran gempa bumi karena dominasi nilai frekuensi rendah dan puncak HVSR-nya yang tinggi. Namun, kerusakan yang paling besar apabila terjadi gempa bumi yaitu terletak pada titik pengukuran MKT-01, MKT-02, MKT-04, MKT-08, MKT-18, MKT-22, MKT-25, dan MKT-26. Nilai puncak HVSR diatas 3 tersebar di seluruh area penelitian kecuali titik pengukuran MKT-17, MKT-21, MKT-27 dan MKT-29 yang memiliki nilai puncak HVSR dibawah 3. Berdasarkan sebaran nilai puncak HVSR tersebut diketahui bahwa perbedaan topografi bukanlah salah satu faktor yang mempengaruhi nilai dari puncak HVSR.

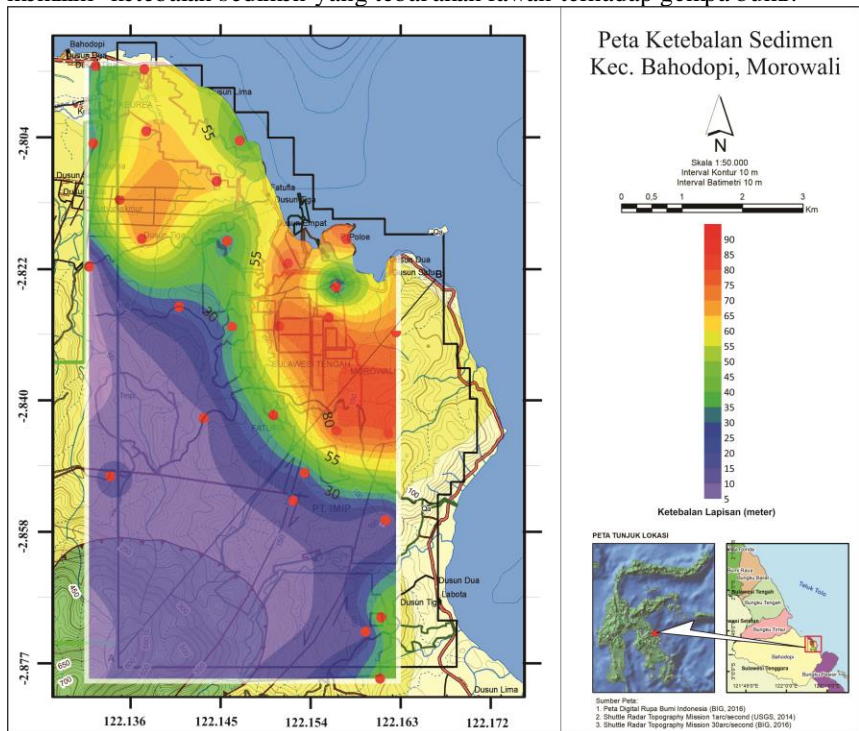
4.4 Analisis Ketebalan Sedimen (h)

Ketebalan lapisan sedimen lokasi penelitian ini ditentukan berdasarkan frekuensi natural yang terukur dan kecepatan gelombang geser pada permukaan tanah (VS30). Nilai VS30 yang digunakan berasal dari data USGS yang diakses melalui halaman resminya. Data persebaran nilai Vs30 dapat dilihat di lampiran. Kemudian dihitung menggunakan persamaan 3.1. Secara matematis ketebalan lapisan sedimen berbanding lurus dengan kecepatan rambat gelombang geser rata-rata dan berbanding terbalik dengan frekuensi natural.



Gambar 4.4 Peta persebaran nilai ketebalan lapisan sedimen yang di-overlay dengan peta topografi.

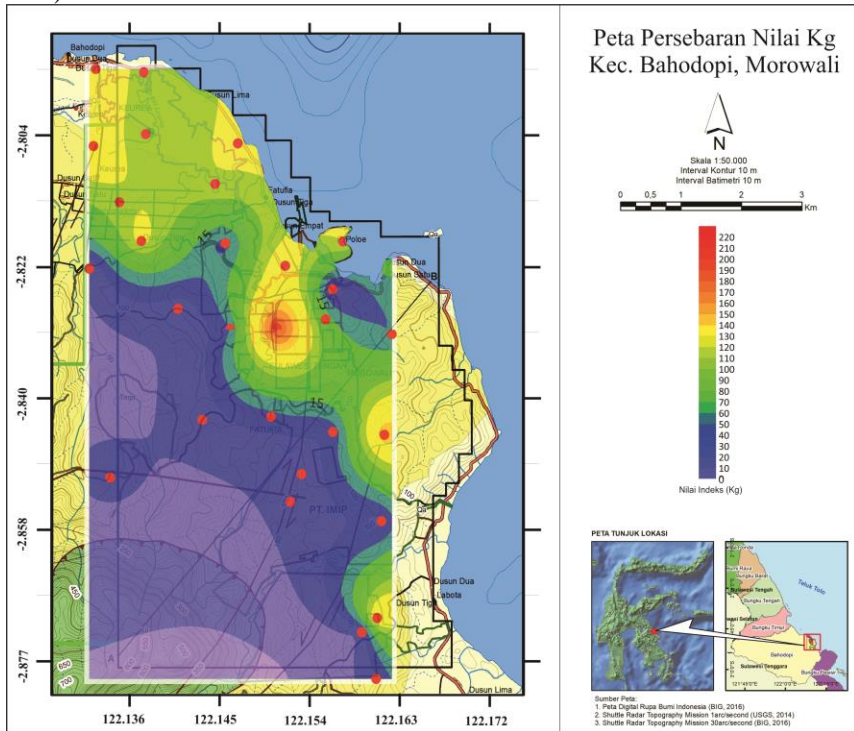
Daerah penelitian yang berlokasi di Kecamatan Bahodopi (gambar 4.4) menunjukkan bahwa nilai ketebalan lapisan sedimen didominasi oleh nilai yang tinggi. Sebagian besar Daerah penelitian sebelah utara hingga ke timur memiliki nilai ketebalan sedimen (h) yang relative tinggi dengan ketebalan sedimen > 30 meter. Sedangkan untuk ketebalan lapisan sedimen dibawah < 30 meter berada pada sisi selatan daerah penelitian. Daerah tersebut merupakan puncak dari perbukitan. Sehingga pada daerah ini aktivitas sedimentasi sangat rendah. Berdasarkan pengaruh terhadap gempa dapat diestimasi bahwa ketika lapisan sedimen memiliki nilai yang besar akan berkorelasi dengan frekuensi natural yang memiliki nilai rendah, dimana amplitudo yang akan dihasilkan akan semakin besar. Gelombang gempa akan terjebak pada lapisan sedimen yang tebal sehingga gelombang hanya beresilasi tanpa diteruskan. Ketika gelombang gempa memiliki frekuensi sama ataupun lebih besar maka gelombang akan mengalami penguatan yang tinggi sehingga daerah yang memiliki ketebalan sedimen yang tebal akan rawan terhadap gempa bumi.



Gambar 4.5 Peta persebaran nilai ketebalan lapisan sedimen yang di-overlay dengan peta geologi

4.5 Analisis Indeks Kerentanan Tanah (Kg)

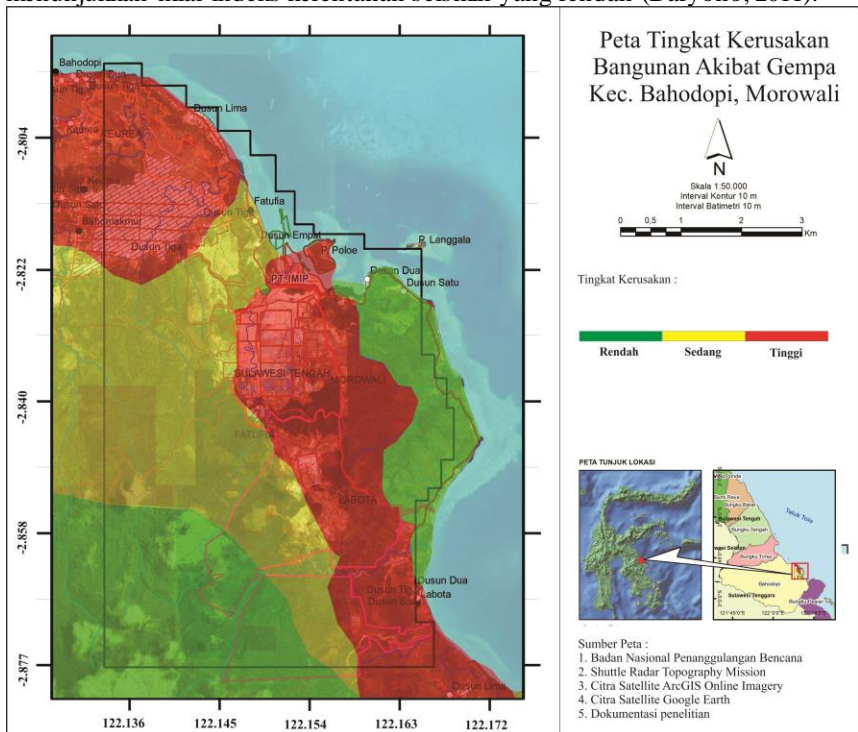
Hasil perhitungan diperoleh Nilai indeks kerentanan tanah disajikan penulis kedalam gambar 4.5. Pada gambar 4.5 nilai indeks kerentanan tanah pada daerah penelitian yaitu berada pada rentang 0,62 – 224,934. Apabila dikorelasikan dengan indeks kerentanan di daerah Graben Bantul. Daerah yang mengalami kerusakan parah akibat gempa bumi Bantul 2006 yaitu terjadi pada daerah yang memiliki nilai indeks kerentanan tanah diatas 10 (Sunardi dkk., 2012).



Gambar 4.6 Peta persebaran indeks kerentanan tanah yang di-overlay dengan peta geologi.

Berdasarkan peta persebaran nilai Kg diatas, daerah penelitian mayoritas memiliki nilai indeks kerentanan tanah diatas 10 yang tersebar diseluruh area titik pengukuran mikrotremor. Hanya di beberapa titik pengukuran saja yang memiliki nilai indeks kerentanan tanah di bawah 10, terutama pada daerah puncak perbukitan yang aktivitas sedimentasinya rendah. Hal ini menunjukkan bahwa pada titik di daerah puncak perbukitan lebih dekat dengan lapisan *bedrock* dan menjadi titik yang paling aman dari bahaya seismisitas apabila didirikan suatu bangunan. Secara umum nilai indeks kerentanan tanah atau

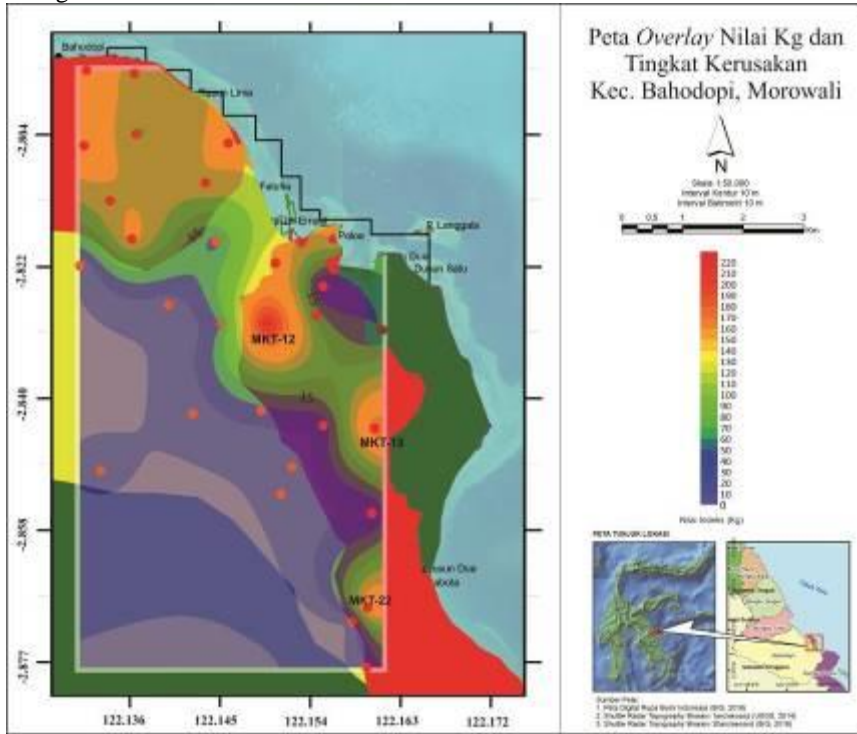
kerentanan seismik bernilai rendah terkonsentrasi pada daerah yang berada pada dataran rendah atau daerah pesisir pantai, dimana pada daerah tersebut didominasi Kompleks Ultramafik. Sedangkan untuk nilai indeks kerentanan tanah yang bernilai tinggi berada pada lereng perbukitan dan pesisir pantai yang didominasi dengan Formasi Tomata (Tmpt) dan Alluvium (Qa). Hal ini sesuai dengan Peta Geologi yang sudah dicantumkan pada bab sebelumnya dan didukung pendapat (Daryono, 2011), di mana indeks kerentanan seismik menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempa bumi, yang berkaitan dengan kondisi geomorfologisnya yang mana pada daerah alluvial nilai indeks kerentanan seismik menunjukkan nilai yang tinggi sedangkan daerah perbukitan menunjukkan nilai indeks kerentanan seismik yang rendah (Daryono, 2011).



Gambar 4.7 Peta Tingkat Kerusakan Bangunan Akibat Gempa

Gambar 4.7 diatas adalah peta tingkat kerusakan bangunan akibat gempa yang datanya diambil dari *website* resmi BNPB (BNPB, 2018). Data tersebut kemudian dibobotkan dengan dokumentasi kerusakan bangunan serta tata guna lahan sebenarnya. Pada bagian berwarna merah melambangkan kerusakan tinggi, hal ini dikarenakan banyaknya bangunan yang berdiri pada zona tersebut. Sedangkan pada bagian berwarna hijau melambangkan kerusakan

bangunan rendah dimana pada zona tersebut memang belum didirikan bangunan. Peta ini kemudian di-*overlay* dengan peta persebaran nilai Kg sebagai salah satu bahan validasi keakuratan nilai tersebut.



Gambar 4.8 Peta Persebaran nilai Kg yang di-*overlay* dengan Peta Tingkat Kerusakan Bangunan Akibat Gempa

Jika ditinjau dari persebaran nilai indeks kerentanan tanah tersebut (Gambar 4.8) daerah penelitian menunjukkan sangat rentan terhadap efek lokal yang diakibatkan oleh gempa bumi. Hal ini sudah sesuai dengan peta tingkat kerusakan bangunan akibat gempa (Gambar 4.7) dimana pada daerah penelitian didominasi tingkat kerusakan bangunan sedang yaitu zona berwarna kuning sampai tinggi yaitu zona berwarna merah. Hal ini disebabkan karena secara umum sebaran nilai indeks kerentanan tanahnya sangat tinggi. Namun, pada titik MKT-12 dan MKT-18 di Desa Fatufia dan MKT-22 di Desa Labota memiliki kerusakan bangunan paling parah akibat gempa bumi dikarenakan pada titik-titik tersebut memiliki nilai frekuensi rendah dan amplifikasi HVSR tinggi yang berasosiasi dengan indeks kerentanan tanah yang tinggi. Hal ini

juga didukung oleh data kerusakan sebelumnya, dimana pada titik MKT-12, MKT-18 dan MKT-22 mengalami kerusakan bangunan yang parah karena gempabumi sebelumnya. Nakamura juga menyampaikan bahwa dalam penelitiannya di distrik Marina San Fransisco, daerah yang mengalami kerusakan parah berada pada dataran yang memiliki kondisi geologi alluvium yaitu berada di daerah pantai yang memiliki nilai indeks kerentanan seismik tinggi (Nakamura dkk., 2000).

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan dari hasil pengolahan data dan interpretasi data mikrotremor di daerah Kecamatan Bahodopi, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan nilai frekuensi dominan 0,731-11,52 hz, amplitude HVSR 2,254-16,953, ketebalan sedimen 7-85 meter dan indeks kerentanan tanah bernilai 0,62 – 224,934.
2. Berdasarkan indeks kerentanan tanah (Kg) daerah penelitian termasuk daerah yang rawan terkena dampak bencana gempabumi dengan daerah yang mengalami kerusakan paling signifikan berada di Desa Fatufia dan Desa Labota.

5.2 Saran

Setelah dilakukannya penelitian ini maka diperoleh beberapa hal yang dapat disarankan untuk menjadi bahan perbandingan dalam penelitian yang akan lebih lanjut, di antara lain sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan korelasi dengan data metode geofisika lainnya untuk mendapatkan profil bawah permukaan tanah yang lebih baik seperti data pemboran untuk melihat keakuratan dari litologi penyusun batuan di daerah penelitian.
2. Serta dengan diketahuinya profil tanah di daerah penelitian sebaiknya pendirian bangunan pada daerah penelitian disarankan mengikuti prosedur dari *international building code* untuk mengurangi resiko kerusakan akibat gempa bumi.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, C.I., Sapiie, B.M. dan Harsolumakso, A.H. (2006), *Geologi Fisik*, Penerbit ITB, Bandung.
- Arifin, S.S., Mulyatno, B.S., Marjiyono dan Setianegara, R. (2013), *Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa Dan Sekitarnya*, Vol.2, No.1.
- Asten, M.W. (1978), *Geological Control on the Three-Component Spectra of Rayleigh Wave Microseisms.*, pp. 1623-1636, Bulletin of the Seismological Society of America, USA.
- BNPB (2018), *Data Informasi Bencana Indonesia*. Diambil 26 Januari 2020, dari <http://bnpb.cloud/dibi/>.
- Cristanty, I.N. (2011), *Slopes Stability Analysis Based On Microzonation In Bumiaji District, Batu Malang*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Daryono (2011), *Indeks Kerentanan Tanah (Kg) Berdasarkan Mikrotremor pada setiap satuan bentuk lahan di zona Graben, Bantul*, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Firman, S., Bahri, A.S. dan Juan Pandu (2014), "Microtremor Study of Gunung Anyar Mud Volcano, Surabaya, East Java", *ISED*..

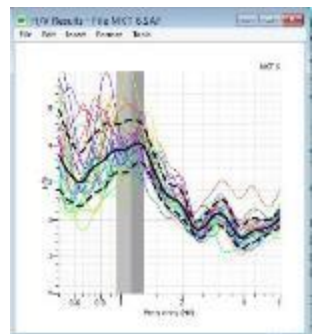
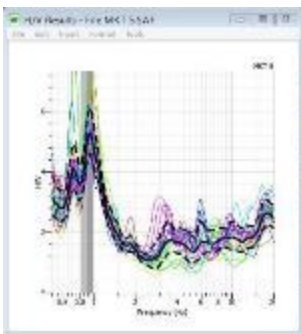
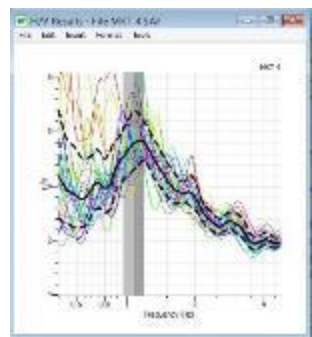
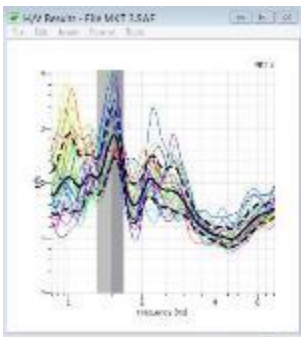
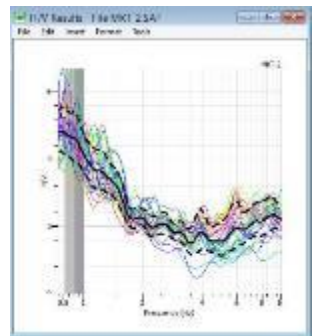
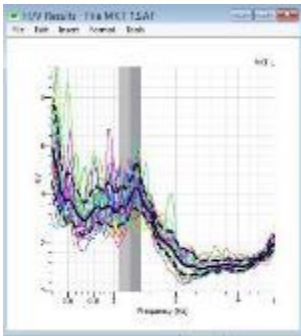
- Fowler, C.M.R. (2015), *The Solid Earth An Introduction To Global Geophysics Second Edition*, Cambridge University Press, United Kingdom.
- Gutenberg, B. (1958), *Microseisms Advances in Geophysics*, PP. 5392, Bulletin of the Seismological Society of America, USA.
- Hamilton, W. (1979), *Tectonics of the Indonesian Region*, Geological Survey Profesional Paper, Washington,.
- Ibrahim, G. dan Subardjo (2005), *Pengetahuan Seismologi*, Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, Jakarta.
- Juan Pandu, Bahri, A.S. dan Wahyudi (2012), "Analisa Mikrotremor HVSR untuk Memetakan Potensi Likuifaksi Di Daerah Pesisir Kec. Pacitan", *J. Fis. Dan Apl.*,
- Lachet, C. dan Brad, P.Y. (1994), *Numerical and Theoretical Investigations on the Possibilities and Limitations of Nakamura's Technique.*,
- Mulyatno, B.S., Marjiyono dan Setianegara, R. (2013), "Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya", *Geofisika Eksplorasi*, Vol.1.
- Nakamura, Y. (2000), *Real Time Information Systems for Seismic Hazards Mitigation*, Quarterly Report of RTRI, JAPAN.
- Nakamura, Y. (1989), *Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface.*,

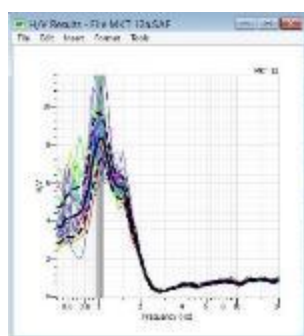
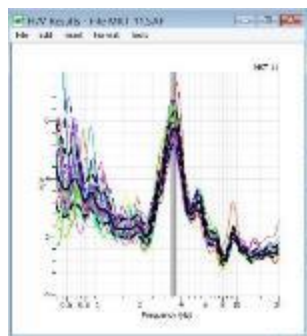
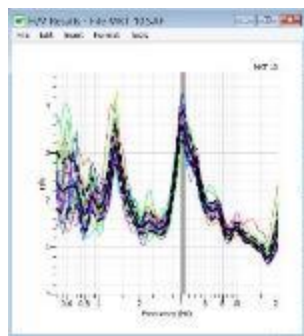
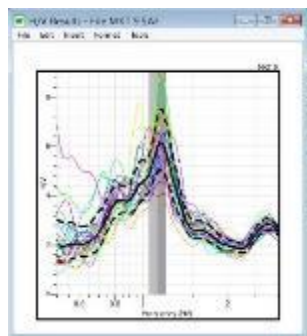
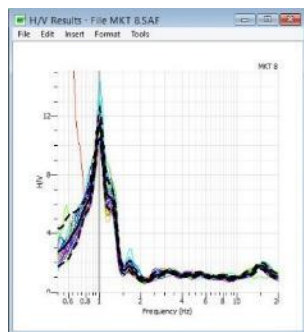
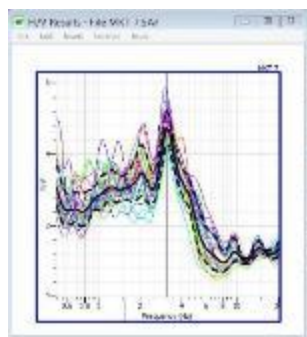
- Nakamura, Y., Gurler, D.E., Saita, J., Roveli, A. dan Donati, S. (2000), "Vulnerability Investigation of Roman Colosseum Using Microtremor", *12WCEEE*,.
- Okada, H. (2004), *The Microtremor Survey Method*, Society of Exploration Geophysicist, USA.
- Santoso, D. (2002), *Pengantar Teknik Geofisika*, Penerbit ITB, Bandung.
- SESAME (2004), *Site Effects Assessment Using Ambient Excitations*, European Commission – Research General Directorate Project No. EVG1-CT-2000-00026 SESAME. Report of the WP04 H/V Technique : Empirical Evaluation.
- Silver, E.A., Smith, R.B. dan McCaffrey, R. (1983), "Collision, Rotation and the initiation of subduction in the evolution of Sulawesi, Indonesia", *Journal of Geophysical Research*, Vol.VI. 88, No.B11: 9407-9418.
- Simanjuntak, T.O., Rusmana, E., Supandjono, J.B. dan Koswara, A. (1993), *Peta Geologi Lembar Bungku, Sulawesi*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Smith, R.B. dan Silver, E.A. (1991), "Geology of a Miocene collision complex, Buton, eastern Indonesia", *Geological Society of America Bulletin*, Vol.v.103: 660-678.
- Sukanto, R. (1975a), *Geologic Map of Indonesia, Sheet VIII, Ujung Pandang*,.
- Sukanto, R. (1975b), "Perkembangan Tektonik di Sulawesi dan Daerah Sekitarnya", *Majalah IAGI*, Vol.1–13.

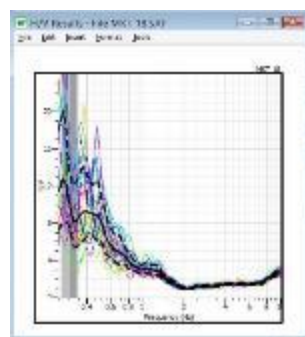
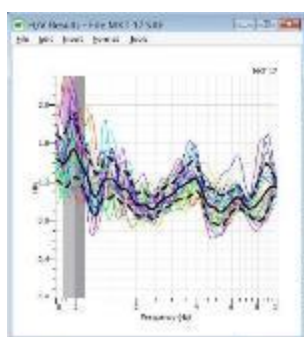
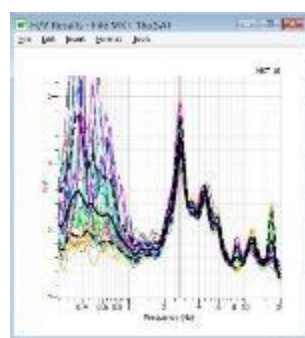
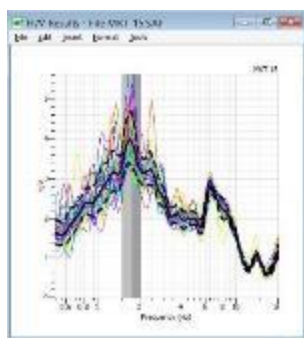
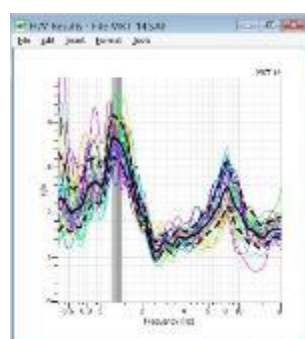
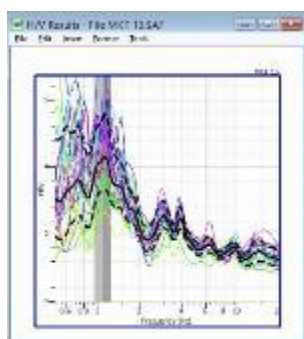
- Sunardi, B., Daryono, Arifin, J. dan Susilanto, P. (2012), "Kajian Potensi Bahaya Gempa Bumi Daerah Sumbawa Berdasarkan Efek Tapak Lokal", *Meteorologi dan Geofisika*, Vol.131–137.
- Sungkono, Warnana, D.D. dan Utama, W. (2011), "Evaluation of Buildings Strength from Microtremor Analyses", *Int. J. Civ. Environ. Eng. IJCEE-IJENS*, Vol.11.
- Sutrisno, W.T. (2014), *Profiling Persebaran Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Menggunakan Inversi Mikrotremor Spectrum Horizontal-To-Vertical Spectral Ratio (HVSr)*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Tuladhar, R. (2002), *Seismic Microzonation of Greater Bangkok using Microtremor.*, Asian Institute of Technology, Thailand.
- USGS (2019), *USGS Vs30 Map Viewer*. Diambil 26 Juli 2019, dari <https://usgs.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=8ac19bc334f747e486550f32837578e1>.
- Waluyo (1992), *Seismotectonics of Eastern Indonesian Region*, Saint Louis University, USA.
- Warnana, D.D., Soemitro, R.A. dan Utama, W. (2011), "Application of Microtremor HVSr Method for Assessing Site Effect in Residual Soil Slope.", *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS*, Vol.11.

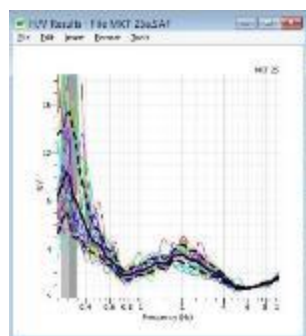
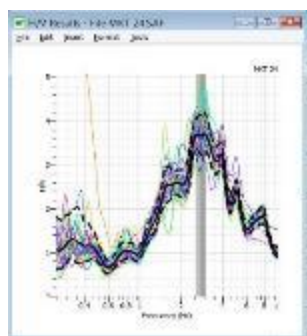
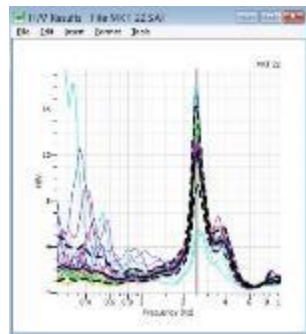
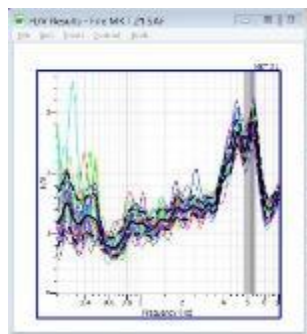
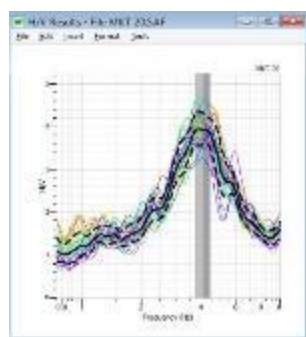
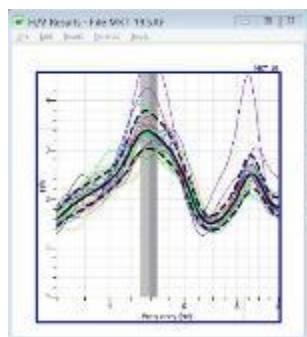
Daftar Luaran

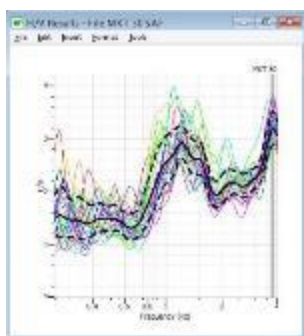
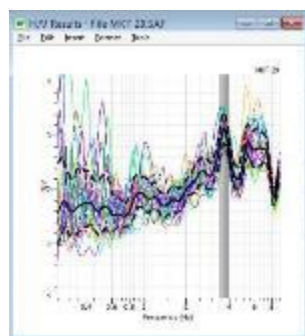
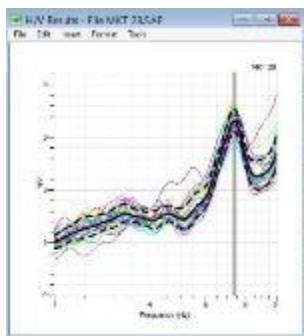
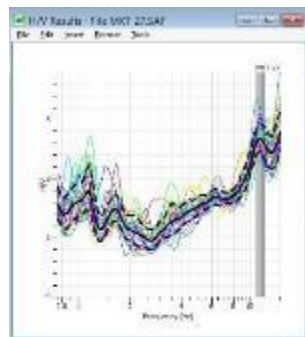
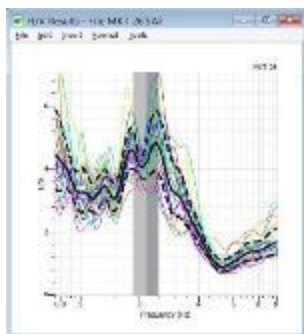
Kurva H/V Daerah Penelitian











Koreksi Kurva HVSR (Reliability)

Titik	X	Y	Z	F0	A0	$\delta_a(f)$	hw	nw	$10/nw$	$n_c(f0) = \frac{n_c(f0)}{nw \cdot hw \cdot f0}$	$f0 > 10/nw$	$n_c(f0) > 200$	$\delta_a(f) < 2, f0 > 0,5$	RELIABIL
MKT 1	122.137	-2.791	55.723	1.224	12.437	0.111	100	29	0.1	3549.6	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 2	122.137	-2.800	68.560	0.936	9.877	0.107	100	29	0.1	2714.4	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 3	122.152	-2.801	69.581	1.510	6.395	0.141	100	29	0.1	4379	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 4	122.133	-2.810	69.877	1.076	12.648	0.104	100	29	0.1	3120.4	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 5	122.148	-2.808	68.554	0.905	5.145	0.087	100	29	0.1	2624.5	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 6	122.137	-2.816	75.395	1.128	4.063	0.111	100	29	0.1	3271.2	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 7	122.150	-2.816	28.672	3.129	4.934	0.079	100	29	0.1	9074.1	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 8	122.159	-2.820	85.911	1.007	11.236	0.014	100	28	0.1	2819.6	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 9	122.168	-2.816	79.055	1.132	5.833	0.112	100	29	0.1	3282.8	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 10	122.142	-2.826	26.905	4.150	3.149	0.199	100	29	0.1	12035	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 11	122.150	-2.829	32.574	3.515	5.797	0.166	100	29	0.1	10193.5	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 12	122.158	-2.829	121.165	1.011	7.720	0.066	100	29	0.1	2931.9	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 13	122.165	-2.828	93.186	1.105	4.467	0.100	100	28	0.1	3094	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 14	122.176	-2.830	87.343	1.318	3.655	0.109	100	29	0.1	3822.2	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 15	122.146	-2.843	14.034	6.530	3.865	0.270	100	29	0.1	18937	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 16	122.157	-2.842	41.129	2.750	4.732	0.073	100	29	0.1	7975	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 17	122.166	-2.845	132.582	0.857	2.254	0.078	100	29	0.1	2485.3	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 18	122.174	-2.845	148.957	0.731	12.823	0.041	100	29	0.1	2119.9	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 19	122.160	-2.855	20.089	4.880	3.294	0.230	100	29	0.1	14442	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 20	122.174	-2.858	18.347	4.109	3.816	0.363	100	29	0.1	11916.1	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 21	122.171	-2.874	13.138	6.219	2.648	0.570	100	29	0.1	18035.1	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 22	122.173	-2.872	45.066	2.503	13.119	0.370	100	29	0.1	7258.7	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 24	122.173	-2.881	39.817	2.775	3.609	0.215	100	29	0.1	8047.5	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 25	122.130	-2.790	35.339	1.930	8.667	0.038	100	29	0.1	5597	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 26	122.129	-2.802	31.732	2.210	16.093	0.323	100	29	0.1	6409	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 27	122.128	-2.820	7.174	11.520	2.673	0.741	100	29	0.1	33408	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 28	122.132	-2.851	16.932	7.658	3.171	0.084	100	29	0.1	22208.2	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 29	122.162	-2.851	26.937	3.714	2.770	0.281	100	29	0.1	10770.6	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA
MKT 30	122.166	-2.823	22.796	3.795	3.080	0.164	100	29	0.1	11005.5	SESUAI	SESUAI	SESUAI	YA

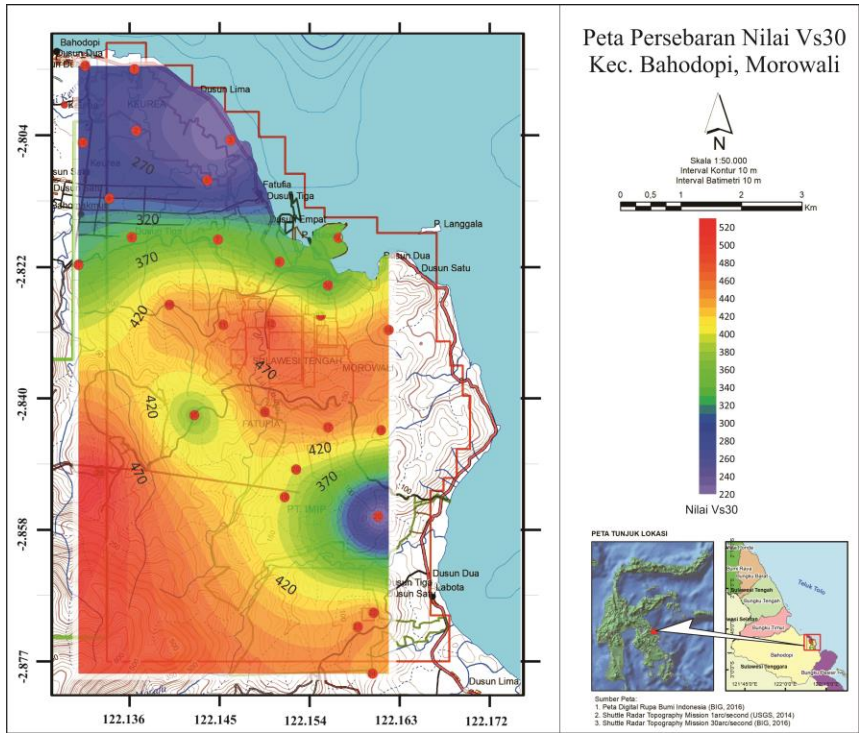
Koreksi Kurva HVSR (Clear Peak)

Titik	X	Y	Z	R0	A0	$\delta_0(f)$	$\epsilon(f)$	Standar Deviasi A0(-)	Standar Deviasi A0(+)	$\theta(f)$	$A_{HV}^{-}(f^-)$	$A_{HV}^{+}(f^+)$	A0 > 2	$\delta_j < \epsilon(f)$	$A_{HV}^{-}(f^-) > 2$	$A_{HV}^{+}(f^+) > 2$	$\delta_0(f) < \theta(f)$	$f_{peak}^{obs}(f) \pm \sigma_f(f) = f_j \pm 5\%$	CLEAR PEAK	
MKT 1	122.137	-2.791	55.725	1.224	12.437	0.111	0.122	11.902	12.685	1.780	0.533	0.248	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	TIDAK YA	
MKT 2	122.137	-2.800	68.560	0.936	9.877	0.107	0.140	9.312	10.353	2.000	0.565	0.476	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	YA
MKT 3	122.132	-2.801	38.381	1.510	6.955	0.141	0.151	6.367	7.360	1.780	0.568	0.425	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	YA
MKT 4	122.133	-2.810	69.577	1.076	12.648	0.104	0.108	12.627	12.783	1.780	0.021	0.135	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	TIDAK YA	
MKT 5	122.148	-2.808	68.854	0.905	5.145	0.087	0.136	4.413	5.904	2.000	0.732	0.759	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	TIDAK YA	
MKT 6	122.137	-2.816	75.395	1.128	4.065	0.111	0.113	3.401	4.686	1.780	0.662	0.623	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	TIDAK YA	
MKT 7	122.150	-2.816	28.672	3.129	4.954	0.079	0.156	4.275	5.205	1.880	0.659	0.271	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	YA
MKT 8	122.159	-2.820	85.911	1.007	11.246	0.014	0.101	10.425	12.445	1.780	0.811	1.209	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	YA
MKT 9	122.168	-2.816	79.051	1.132	5.833	0.112	0.113	4.974	7.256	1.780	0.959	1.423	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	YA
MKT 10	122.142	-2.826	26.905	4.139	3.149	0.199	0.208	3.041	3.871	1.880	0.108	0.722	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	YA
MKT 11	122.150	-2.829	32.574	3.515	5.797	0.166	0.176	5.196	6.299	1.880	0.601	0.502	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	TIDAK YA	
MKT 12	122.158	-2.829	121.161	1.011	7.720	0.066	0.101	7.129	9.294	1.780	0.591	1.874	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	YA
MKT 13	122.165	-2.828	93.186	1.105	4.467	0.100	0.111	3.304	5.491	1.780	1.163	1.024	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	YA
MKT 14	122.176	-2.830	87.343	1.318	3.635	0.109	0.132	3.165	4.094	1.780	0.470	0.459	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	YA
MKT 15	122.146	-2.843	14.054	6.539	3.865	0.270	0.327	3.283	4.617	1.880	0.582	0.752	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	YA
MKT 16	122.157	-2.842	41.249	2.739	4.732	0.073	0.138	4.286	5.322	1.880	0.436	0.529	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	TIDAK YA	
MKT 17	122.166	-2.845	132.382	0.857	2.254	0.078	0.129	1.600	2.920	2.000	0.654	0.666	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	YA
MKT 18	122.174	-2.845	148.957	0.731	12.823	0.041	0.110	12.186	13.178	2.000	0.637	0.355	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	YA
MKT 19	122.160	-2.855	20.089	4.980	3.284	0.230	0.249	3.015	3.766	1.880	0.279	0.442	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	TIDAK YA	
MKT 20	122.174	-2.858	13.247	4.109	3.816	0.261	0.411	3.596	4.265	1.880	0.220	0.429	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	YA
MKT 21	122.171	-2.854	18.138	6.219	2.648	0.370	0.622	2.535	2.954	1.880	0.113	0.286	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	YA
MKT 22	122.173	-2.872	45.066	2.505	13.119	0.270	0.375	9.221	16.260	1.880	3.898	3.141	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	YA
MKT 24	122.173	-2.881	39.817	2.775	3.609	0.215	0.278	3.243	4.168	1.880	0.366	0.579	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	YA
MKT 25	122.130	-2.790	35.339	1.939	8.667	0.038	0.193	6.273	13.148	1.780	2.294	4.481	SESJAI	SESJAI	TIDAK	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	YA
MKT 26	122.129	-2.802	31.753	2.210	16.093	0.233	0.332	15.725	16.995	1.880	0.368	0.820	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	TIDAK YA	
MKT 27	122.128	-2.820	7.174	11.520	2.673	0.241	1.178	2.444	2.923	1.880	0.229	0.290	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	TIDAK YA	
MKT 28	122.132	-2.851	16.932	7.638	3.171	0.084	0.383	3.105	3.527	1.880	0.666	0.356	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	TIDAK YA	
MKT 29	122.162	-2.851	26.897	3.714	2.770	0.281	0.457	1.841	3.385	1.880	0.929	0.615	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	YA
MKT 30	122.166	-2.823	22.796	3.795	3.800	0.164	0.191	2.618	3.249	1.880	0.462	0.169	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	SESJAI	YA

Tabel Nilai Vs30 USGS

Titik	X	Y	VS30
MKT 1	122.137	-2.791	272.82
MKT 2	122.137	-2.800	256.69
MKT 3	122.152	-2.801	231.82
MKT 4	122.133	-2.810	299.46
MKT 5	122.148	-2.808	249.25
MKT 6	122.137	-2.816	340.18
MKT 7	122.150	-2.816	358.86
MKT 8	122.159	-2.820	346.05
MKT 9	122.168	-2.816	357.96
MKT 10	122.142	-2.826	446.63
MKT 11	122.150	-2.829	457.99
MKT 12	122.158	-2.829	489.99
MKT 13	122.165	-2.828	411.88
MKT 14	122.176	-2.830	460.47
MKT 15	122.146	-2.843	366.56
MKT 16	122.157	-2.842	453.74
MKT 17	122.166	-2.845	454.49
MKT 18	122.174	-2.845	435.55
MKT 19	122.160	-2.855	400.18
MKT 20	122.174	-2.858	217.72
MKT 21	122.171	-2.874	451.2
MKT 22	122.173	-2.872	451.2
MKT 24	122.173	-2.881	441.97
MKT 25	122.130	-2.790	272.82
MKT 26	122.129	-2.802	280.51
MKT 27	122.128	-2.820	330.57
MKT 28	122.132	-2.851	518.65
MKT 29	122.162	-2.851	400.18
MKT 30	122.166	-2.823	346.05

Peta Persebaran Vs30



Biografi Penulis



Penulis bernama Novian Arif Setiawan yang lahir di Mojokerto, 20 November 1997. Lahir dari pasangan Bapak Sumarji dan Ibu Pinarti serta merupakan sulung dari 2 bersaudara. Pendidikan formal penulis dimulai di SDN I Tawang (2003-2009), lalu melanjutkan sekolah di SMPN I Wates (2009-2012), kemudian melanjutkan ke jenjang SMA di SMA I Kota Kediri, terakhir penulis melanjutkan pendidikannya di Departemen Teknik Geofisika ,Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS).

Selama menjadi mahasiswa aktif di ITS, penulis aktif dalam kegiatan organisasi baik di lingkungan kampus maupun di luar unit kampus. Kegiatan aktif penulis di lingkup kampus diantaranya pernah menjadi Staff Dirotul Islamiah Lembaga Dakwah Jurusan (LDJ) “KMTG-A1 Ardh” periode 2016-2017, Staff HRD LDJ “KMTG-A1 Ardh” periode 2017-2018, serta menjadi Dewan Perwakilan Angkatan (DPA) HMTG ITS periode 2016-2017. Kegiatan aktif penulis di luar kampus diantaranya menjadi staff pengajar tetap ‘Gerakan Melukis Harapan’ (GMH) di Kampung Binaan Dolly, Humas Gerakan Sea Soldier Surabaya, serta aktif di bidang lingkungan seperti Earth Hour dan Pecinta Alam. Selain itu penulis juga aktif dibidang seni music diantaranya pernah menjuarai lomba aransemen tingkat ITS, lomba cover tingkat Fakultas, dan menjadi Opening Band Konser Andra and The backbone. Jika ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, dapat menghubungi email: novian15@mhs.geofisika.its.ac.id.

