

**ANALISIS KERENTANAN GEMPA BERDASARKAN NILAI *PEAK*
GROUND ACCELERATION DENGAN METODE HVSR DI KABUPATEN
PACITAN**

SKRIPSI

Oleh:
SHINTA DEWI PERMATASARI
NIM. 200604110005



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

**ANALISIS KERENTANAN GEMPA BERDASARKAN NILAI *PEAK*
GROUND ACCELERATION DENGAN METODE HVSR DI KABUPATEN
PACITAN**

SKRIPSI

**Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:
SHINTA DEWI PERMATASARI
NIM. 200604110005**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISIS KERENTANAN GEMPA BERDASARKAN NILAI *PEAK GROUND ACCELERATION* DENGAN METODE HVSR DI KABUPATEN PACITAN

SKRIPSI

Oleh:

SHINTA DEWI PERMATASARI
NIM. 200604110005

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji
Pada tanggal, 09 September 2024

Dosen Pembimbing I



Drs. Abdul Basid, M.Si.
NIP.19650504 199003 1 003

Dosen Pembimbing II



Arista Romadani, M.Sc.
NIP.19900905 201903 1 018

Mengetahui,
Ketua Program Studi



Dr. Imam Tazi, M.Si
NIP.19740730 200312 1 002

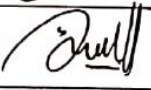
HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS KERENTANAN GEMPA BERDASARKAN NILAI *PEAK GROUND ACCELERATION* DENGAN METODE HVSR DI KABUPATEN PACITAN

SKRIPSI

Oleh:
Shinta Dewi Permatasari
NIM. 200604110005

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal, 09 September 2024

Ketua Penguji	<u>Ahmad Luthfin, S.Si., M.Si.</u> NIP. 19860504 201903 1 009	
Anggota Penguji I	<u>Wiwis Sasmitaninghidayah, S.Si., M.Si.</u> NIP. 19870215 202321 2 031	
Anggota Penguji II	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si.</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Anggota Penguji III	<u>Arista Romadani, M.Sc.</u> NIP. 19900905 201903 1 018	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi



Dr. Imam Tazi, M.Si.
NIP. 19740730 200312 2 002

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : SHINTA DEWI PERMATASARI
NIM : 200604110005
Program Studi : FISIKA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Judul Penelitian : Analisis Kerentanan Gempa Berdasarkan Nilai *Peak Ground Acceleration* dengan Metode HVSR di Kabupaten Pacitan.

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk mempertanggung jawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 09 September 2024
Yang Membuat Pernyataan,



Shinta Dewi Permatasari
NIM. 200604110005

MOTTO

عَنْ أَبِي ذَرٍّ جُنْدُبِ بْنِ جُنَادَةَ وَأَبِي عَبْدِ الرَّحْمَنِ مُعَاذِ بْنِ جَبَلٍ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُمَا عَنْ رَسُولِ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ قَالَ: (اتَّقِ اللَّهَ حَيْثُمَا كُنْتَ، وَاتَّبِعِ السَّيِّئَةَ الْحَسَنَةَ تَمَحُّهَا، وَخَالِقِ النَّاسَ بِخُلُقٍ حَسَنٍ) رَوَاهُ التِّرْمِذِيُّ وَقَالَ: حَدِيثٌ حَسَنٌ. وَفِي بَعْضِ النُّسخ: حَسَنٌ صَحِيحٌ

"Bertakwalah kepada Allah di mana pun kamu berada dan ikutilah perbuatan buruk dengan perbuatan baik niscaya itu menghapusnya, dan bergaullah dengan manusia dengan akhlak yang luhur." - HR. Tirmidzi

"Hanya ada dua cara menjalani kehidupan kita. Pertama adalah seolah tidak ada keajaiban. Kedua adalah seolah segala sesuatu adalah keajaiban"

"Belajarlah dari masa lalu, hidupilah untuk masa depan. Yang penting adalah tidak berhenti bertanya"

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah Swt. penulis panjatkan atas segala limpahan rahmat dan kenikmatan-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dan penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua, Ayah Asrori dan Mama Vivit. Gelar sarjana ini saya persembahkan khusus untuk kalian. Terima kasih atas segala pengorbanan dan tulus kasih yang di berikan. Beliau senantiasa memberikan yang terbaik, tak kenal lelah mendoakan serta memberikan perhatian dan dukungan. Dengan kerja kerasnya beliau mampu menghantarkan putrinya sampai pada jenjang ini. Terima kasih dan maaf tentu saja tidak cukup untuk mengungkapkan segala rasa syukur dan penghargaan sehingga saya berharap Allah memberikan dan menetapkan segala hal yang terbaik untuk segala sisi kehidupan kedua orang tua saya, baik kehidupan di dunia dan di akhirat. Teruslah panjang umur dan sehat selalu ayah, mama. Kakak sedang berusaha untuk masa depannya beberapa hal masih dalam perjalanan yang kakak sedang kejar, dampingi kakak selalu dengan doa-doamu.
2. Adik penulis, Muhammad Bayu Permana, Lathifah Nur Azkia, dan Haidar Ahmad Amrulloh Terima kasih telah menjadi sumber semangat serta kebahagiaan. Kehadiran kalian mampu menghapus lelah dan menghadirkan senyuman di wajah. Dukungan dan doa sederhana kalian memberikan kekuatan yang luar biasa. Semoga kita menjadi anak yang membanggakan kedua orang tua. Dan terima kasih untuk seluruh keluarga besar yang selalu memberikan dukungan dan doa.

3. Kepada Kakakku Nurul Fauziah Salsabila Putri, S.Kes., Ftr. Terimakasih sudah menemani adikmu ini selama di perantauan, terimakasih juga sudah kebersamai, menasihati, memberikan semangat untukku. Sehat selalu ya kakakku, meskipun jauh namun komunikasi jangan sampai terputus. Terimakasih sudah menjadi kakakku yang baik, bakal kangen dengan kakak sepertimu. Sukses selalu kakak
4. Sahabat Orisya Mutmainatul Wakhidah, S.Pd, Nisrina Alya Aminin dan Annisa Zakiya Ika Safitri, S.Pd. yang selalu memberikan semangat, mendukung dan kebersamai penulis. Selalu ada di samping dalam suka maupun duka. Terima kasih atas kebersamaan yang penuh makna, canda tawa yang selalu menghibur, dan dukungan yang begitu tulus. Kalian adalah bagian tak terpisahkan dari perjalanan ini.
5. Kepada pemilik NIM 19630001 terima kasih telah memberikan semangat kepada penulis dan selalu ada di saat penulis membutuhkan tempat untuk bercerita dan berkeluh kesah, terima kasih telah menjadi rumah bagi penulis, terima kasih untuk semua dukungan, motivasi yang telah diberikan kepada penulis. Tidak lupa juga penulis sampaikan terima kasih untuk sikap sabar dalam kebersamai perempuan berisik ini. Semoga sehat selalu, dimudahkan pekerjaannya, selalu dalam lindungan Allah SWT.
6. Kepada pemilik NIM 19106020017 terima kasih sudah ada dalam waktu yang cukup singkat 4 hari 3 malam mengajari berbagai ilmu yang belum pernah penulis dapatkan, terima kasih sudah membantu penulis dalam pengambilan data di lapangan dalam keadaan panas maupun hujan tetap bisa membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian hingga akhir,

terima kasih sudah sabar dalam hal mengajari, membantu dan kebersamaan penulis. Terimakasih untuk semua dukungan, motivasi yang telah diberikan kepada penulis. Semoga sehat selalu, dimudahkan pekerjaannya, selalu dalam Allah SWT.

7. Teman teman Program Studi Fisika 2020 terkhusus Ainul Fitriyah, Dwi Warni Saputeri, Lathifatul Vina Nur Aini, Lailatul Izza, S.Si., Siti Aisyah Catursari, S.Si., dan Septianti Windi Anggraeni yang selalu memberikan semangat, selalu mendukung dan kebersamaan penulis.
8. *Last but not least.* Terima kasih untuk Shinta Dewi Permatasari, diri saya sendiri yang telah berjuang dan bekerja keras sejauh ini. *Blood, sweat and tears* selama pengerjaan skripsi ini semoga menjadi awal yang indah untuk kedepannya. Sehat dan sukses selalu buat kamu, teruslah memeluk dan mencintai dirimu sendiri lebih dari kamu mencintai orang lain. Rayakan selalu pencapaianmu karena kamu memang sudah melangkah sehebat ini.

Skripsi ini dipersembahkan untuk orang-orang yang kebersamaan penulis baik yang tersebut diatas maupun tidak tersebut, sebagai pengingat atas jasa-jasa mereka yang telah menemani penulis dalam proses studi.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Swt. atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan proposal penelitian, walaupun memang masih jauh dari kesempurnaan. *Shalawat* serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi *Rahmatan lil Alamin* Muhammad saw yang telah menuntun dari zaman kegelapan menuju ke zaman yang terang yaitu *Dinul Islam*.

Penulis mengucapkan banyak terimakasih atas terselesaikannya skripsi penelitian dengan judul “**Analisis Kerentanan Gempa Berdasarkan Nilai *Peak Ground Acceleration* Dengan Metode HVSr Di Kabupaten Pacitan**”, yang mana dalam proses penyusunan skripsi penelitian ini penulis mendapat banyak bimbingan, nasihat, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. M. Zainuddin, MA. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Ibu Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Bapak Dr. Imam Tazi, M.Si. selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Bapak Drs. Abdul Basid, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang senantiasa sabar meluangkan waktu dan membimbing tugas akhir ini sehingga penyusunan skripsi ini hingga selesai.

5. Bapak Arista Romadani, M.Sc, selaku Dosen Pembimbing Integrasi Sains dan Islami yang telah membantu, memberikan masukan, dan arahan terhadap permasalahan integrasi Al-Qur'an dalam skripsi ini
6. Bapak Nugroho Budi Wibowo, S.Si., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Lapangan yang senantiasa sabar meluangkan waktu dalam membimbing tugas akhir ini serta banyak memberikan saran, semangat, nasihat, dan ilmu yang banyak bagi penulis.
7. Ayah Almarhumah Nana Yudi Satriyo dan Mama Vivit Wedyanti, S.Pd., S.E. selaku orang tua penulis yang sangat dicintai dan terimakasih atas doa, kasih sayang serta dukungan yang tidak henti-hentinya diberikan kepada penulis hingga skripsi ini selesai.
8. Ayah Asrori, selaku orang tua sambung penulis yang sangat dicintai dan terimakasih atas doa, kasih sayang serta dukungan yang tidak henti-hentinya diberikan kepada penulis hingga skripsi ini selesai.
9. Teman-teman seperjuangan di Bidang Geofisika angkatan 2020 yang telah berjuang bersama dari awal kuliah hingga saat ini.
10. Teman-teman jurusan Fisika angkatan 2020 yang membantu dan memberikan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.

Teriring do'a dan harapan semoga apa yang telah mereka berikan kepada penulis mendapatkan balasan yang baik dari Allah Swt. Jazakumullah khoiron katsir. Penulis menyadari bahwasannya skripsi ini tentu jauh dari sempurna. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi kesempurnaan skripsi penelitian ini. Terlepas dari segala kekurangan, semoga

skripsi penelitian ini dapat memberikan informasi dan kontribusi positif serta bermanfaat kepada para pembaca khususnya kepada penulis sendiri. Aamiin.

Malang, 09 September 2024

Penulis,

Shinta Dewi Permatasari

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
ABSTRAK	xviii
ABSTRACT	xix
مستخلص البحث.....	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Batasan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Gempa Bumi.....	9
2.1.1 Pengertian Gempa Bumi	9
2.1.2 Parameter Gempa bumi.....	11
2.2 Mikrotremor	16
2.3 Metode <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i> (HVSr)	18
2.4 Frekuensi Dominan	24
2.5 Periode Dominan.....	25
2.6 Amplifikasi	27
2.7 Indeks Kerentanan Seismik (Kg).....	28
2.8 <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA).....	29
2.9 Peta Kerentanan Gempa bumi	32

2.10 Geologi Daerah Penelitian.....	34
2.11 Penelitian yang Relevan	37
BAB III METODE PENELITIAN	39
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	39
3.2 Alat dan Bahan	39
3.3 Prosedur Penelitian.....	41
3.4 Interpretasi Data.....	49
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	51
4.1 Pengambilan Data di Lapangan.....	51
4.2 Pengolahan Data Mikrotremor dengan Metode HVSR di <i>Software Sesarrry Geopsy</i>	52
4.3 Analisis Nilai Faktor Amplifikasi (A_0)	57
4.4 Analisis Nilai Faktor Frekuensi Dominan (F_0).....	60
4.5 Analisis Nilai Periode Dominan (T_0).....	63
4.6 Analisis Nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g).....	66
4.7 Analisis <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA).....	68
4.8 Pembahasan dan Hubungan Antara Nilai A_0 , F_0 , K_g dan PGA.....	75
4.9 Hasil Penelitian dalam Perspektif Al-Qur'an	77
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	81
5.1 Kesimpulan.....	81
5.2 Saran.....	82
DAFTAR PUSTAKA.....	83
LAMPIRAN.....	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi Teori Elastisitas Batuan.....	10
Gambar 2. 2 Gelombang Primer	12
Gambar 2. 3 Gelombang Sekunder.....	12
Gambar 2. 4 Titik Parameter dan Hiposenter	14
Gambar 2. 5 Contoh Hasil Pengukuran Sinyal Mikrotremor di Distrik Kabupaten Pacitan.....	18
Gambar 2. 6 Kurva H/V dengan Metode HVSR	19
Gambar 2. 7 Pemodelan Cekungan yang Terisi oleh Batuan Lunak	20
Gambar 2. 8 Peta Kerentanan Kabupaten Pacitan.....	33
Gambar 2. 9 Peta Geologi di Kabupaten Pacitan	35
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian di Kabupaten Pacitan.....	39
Gambar 3. 2 Perangkat Keras Pengukuran Mikrotremor	41
Gambar 3. 3 Peta Desain Titik Pengukuran Data Mikrotremor di Lapangan.....	42
Gambar 3. 4 Tampilan Hasil Pengukuran sinyal mikrotremor pada Software Geopsy.....	44
Gambar 3. 5 Sinyal Rekaman Mikrotremor Tiga Komponen.....	46
Gambar 3. 6 Contoh Windowing Sinyal Mikrotremor	47
Gambar 3. 7 Contoh Kurva H/V.....	48
Gambar 3. 8 Diagram Alir Penelitian	50
Gambar 4. 1 Persiapan Instrument Alat di Lokasi Titik Penelitian.....	51
Gambar 4. 2 Proses Perekaman Sinyal Mikrotremor	52
Gambar 4. 3 Peta Lokasi Titik Pengukuran Mikrotremor	53
Gambar 4. 4 Grafik Seismogram Hasil Perekaman Mikrotremor Titik 4	54
Gambar 4. 5 Filtering Options untuk Windowing Sinyal Mikrotremor Titik 4...	55
Gambar 4. 6 Windowing Sinyal Mikritremor Titik 4	55
Gambar 4. 7 Grafik Kurva HVSR Titik 4.....	56
Gambar 4. 8 Nilai Puncak Kurva HVSR Titik 4	56
Gambar 4. 9 Peta Nilai Amplifikasi (Ao).....	59
Gambar 4. 10 Peta Nilai Frekuensi Dominan (fo).....	62
Gambar 4. 11 Peta Nilai Periode Dominan (To).....	65
Gambar 4. 12 Peta Nilai Indeks Kerentanan Seismik (Kg).....	68
Gambar 4. 13 Titik Gempa 6,2 SR	69
Gambar 4. 14 Peta Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) gal.....	73
Gambar 4. 15 Peta Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) MMI	74

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Intensitas Gempa Bumi Skala Modified Mercalli Intensity (MMI) (BMKG, 2016)	15
Tabel 2. 2 Klasifikasi Batuan Berdasarkan Frekuensi Dominan Menurut Kanai (Hanifah, 2023)	25
Tabel 2. 3 Klasifikasi Batuan Berdasarkan Periode Dominan Menurut Kanai-Omote Nakajiwa (BMKG, 2016).....	26
Tabel 2. 4 Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi (Aiman, 2023)	28
Tabel 2. 5 Klasifikasi Nilai Indeks Kerentanan Seismik (Kg) (Amaliyah, 2017) ..	29
Tabel 3. 1 Standar operasional pengukuran mikrotremor (SESAME, 2004).....	44
Tabel 4. 1 Nilai Amplifikasi (Ao) di Kabupaten Pacitan.....	57
Tabel 4. 2 Nilai Frekuensi Dominan (fo) di Kabupaten Pacitan	60
Tabel 4. 3 Nilai Periode Dominan (To) di Kabupaten Pacitan	63
Tabel 4. 4 Nilai Indeks Kerentanan Seismik (Kg) di Kabupaten Pacitan.....	66
Tabel 4. 5 Data Gempa Pacitan 16 November 2016.....	69
Tabel 4. 6 Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) gal di Kabupaten Pacitan	70
Tabel 4. 7 Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) g di Kabupaten Pacitan	71
Tabel 4. 8 Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) MMI di Kabupaten Pacitan..	72
Tabel 4. 9 Nilai Hubungan Ao,Fo,Kg.....	75

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kurva H/V.....	87
Lampiran 2. Tabel Hasil Pengolahan Data	98
Lampiran 3. Dokumentasi Lapangan	103
Lampiran 4. Peta Lembar Geologi Kabupaten Pacitan	104

ABSTRAK

Permatasari, Shinta Dewi. 2024. **Analisis Kerentanan Gempa Berdasarkan Nilai *Peak Ground Acceleration* dengan Metode HVSR di Kabupaten Pacitan**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang. Pembimbing: (I) Drs. Abdul Basid, M.Si. (II) Arista Romadhani, M.Sc.

Kata Kunci: Mikrotremor, HVSR, *Peak Ground Acceleration*

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai frekuensi dominan (f_0), amplifikasi (A_0), periode dominan (T_0), dan indeks kerentanan seismik (K_g) berdasarkan data mikrotremor. Selain itu, juga bertujuan untuk mengetahui nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) berdasarkan data gempa pada 16 November 2016 dan membuat peta kerentanan gempa di Kabupaten Pacitan. Dilakukan pengukuran menggunakan mikrotremor untuk menentukan parameter dinamika tanah. Kemudian dilakukan analisa menggunakan metode HVSR untuk memperoleh nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi yang kemudian digunakan untuk memahami karakteristik struktur geologi akibat gempa bumi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai A_0 berkisar antara 1,62308 hingga 10,8159, dengan sebagian besar daerah masuk dalam klasifikasi zona sedang dan tinggi. Nilai f_0 berkisar antara 0,123871 hingga 20,4221 Hz, dengan sebagian besar daerah memiliki nilai frekuensi rendah hingga sedang. Nilai T_0 berkisar antara 0,04896 hingga 8,07291 detik, dengan sebagian besar daerah diklasifikasikan sebagai tanah lunak hingga sangat lunak. Nilai K_g berkisar antara 0,23298 hingga 243,73481 s^2/cm , dengan wilayah yang memiliki nilai relatif tinggi berada di bagian selatan Kabupaten Pacitan. Nilai PGA berkisar antara 193,331 hingga 1265,530 gal.

ABSTRACT

Permatasari, S. Dewi. 2024. **Earthquake Vulnerability Analysis Based on *Peak Ground Values Acceleration* with the HVSR Method in Pacitan Regency.** *Skripsi*. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang. Supervisor I: Drs. Abdul Basid, M.Si. II: Arista Romadhani, M.Sc.

Keywords: Microtremor , HVSR, *Peak Ground Acceleration*

This study aims to determine the dominant frequency (f_0), amplification (A_0), dominant period (T_0) and seismic vulnerability index (K_g) based on microtremor data. Apart from that, it also aims to determine the *Peak Ground Acceleration* (PGA) value based on earthquake data on November 16 2016 and create an earthquake vulnerability map in Pacitan Regency. Measurements were carried out using microtremors to determine soil dynamic parameters. Then analysis was carried out using the HVSR method to obtain dominant frequency values and amplification factors which were then used to understand the characteristics of geological structures resulting from earthquakes. The research results show that the values A_0 range from 1.62308 to 10.8159, with most areas falling into the medium and high zone classifications. Values f_0 range from 0.123871 to 20.4221 Hz, with most areas having low to medium frequency values. Values T_0 ranged from 0.04896 to 8.07291 s, with most areas classified as soft to very soft soil. The K_g value ranges from 0.23298 to 243.73481 s^2/cm , with the area with a relatively high value being in the southern part of Pacitan Regency. PGA values range from 193,331 to 1265,530 gal.

مستخلص البحث

فرماتاساري، شينتا ديوي. 2024. تحليل قابلية الزلزال بناء على قيمة ذروة التسارع الأرضي باستخدام طريقة *HVSR* في فاجيتان. البحث الجامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: عبد الباسط، الماجستير. المشرف الثاني: أريستا رمضاني، الماجستير.

الكلمات الرئيسية: الهزة الصغرى، *HVSR*، ذروة التسارع الأرضي.

يهدف هذا البحث إلى تحديد قيمة التردد السائد (f_0) والتضخيم (A_0) والفترة السائدة (T_0) ومؤشر الحساسية للزلازل (Kg) بناء على بيانات الهزة الصغرى. بالإضافة إلى ذلك، يهدف أيضا إلى تحديد قيمة ذروة التسارع الأرضي (PGA) بناء على بيانات الزلازل في 16 نوفمبر 2016 وإنشاء خريطة لقابلية الزلزال في فاجيتان. تم إجراء القياسات باستخدام الهزات الصغرى لتحديد معالم ديناميات التربة. ثم تم إجراء تحليل باستخدام طريقة *HVSR* للحصول على قيمة التردد السائد وعامل التضخيم الذي تم استخدامها بعد ذلك لفهم خصائص التركيب الجيولوجي بسبب الزلزال. أظهرت النتائج أن قيمة A_0 تراوحت بين 1.62308 إلى 10.8159، مع وقوع معظم المناطق في تصنيف المنطقة المتوسطة والعالية. تتراوح قيمة f_0 من 0.123871 إلى 20.4221 هرتز، حيث تحتوي معظم المناطق على قيمة التردد منخفضة إلى متوسطة. تراوحت قيمة T_0 من 0.04896 إلى 8.07291 ثانية، مع تصنيف معظم المناطق على أنها تربة ناعمة إلى ناعمة جدا. تراوحت قيمة Kg من 0.23298 إلى 243.73481 cm/s^2 ، مع وجود المنطقة ذات القيمة العالية نسبيا في الجزء الجنوبي من فاجيتان. تتراوح قيمة ذروة التسارع الأرضي (PGA) من 193,331 إلى 1265,530 جال.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan wilayah dengan tingkat kerawanan yang tinggi karena dilalui oleh jalur pertemuan lempeng tektonik dunia yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Sehingga kemungkinan besar terjadi interaksi pergeseran antar lempeng tersebut dapat memicu terjadinya Gempa bumi tektonik. Konsep lempengan tektonik dan proses pergerakan bumi yang baru dapat dipahami oleh para ahli dalam beberapa abad terakhir, sebenarnya sudah dijelaskan oleh Allah swt. dalam Al-Quran al-Waqi'ah ayat 4.

إِذَا رُجَّتِ الْأَرْضُ رَجًا

Artinya: “Apabila bumi diguncangkan sedahsyat-dahsyatnya.”

Pada ayat tersebut kata gempa bumi diwakili oleh kata (رَجَّت) *rujjat* dari kata (رَج) *raja* yang memiliki makna mengguncang dengan keras. Ayat tersebut menggunakan bentuk pasifnya, sehingga kejadian tersebut terkesan sangat mudah terjadi. M Quraish Shihab dalam kitab al-Misbah juga menjelaskan bahwasannya kata tersebut mengacu kepada fenomena alam yaitu gempa bumi, dimana gempa bumi tersebut banyak diumpamakan sebagai kejadian yang sangat dahsyat.

Menurut Wekke (2021) Gempa bumi adalah pergerakan lempeng bumi yang mengakibatkan timbulnya guncangan dan tekanan di wilayah yang terjadi Gempa bumi (Wekke, 2021). Gempa bumi yang terjadi oleh pergeseran lempeng memicu pelepasan energi yang besar dari dalam bumi sehingga menciptakan gelombang seismic. Interaksi antar lempeng tersebut dapat menimbulkan zona subduksi di sekitar pertemuan lempeng, sehingga munculnya aktivitas pada zona subduksi di

daerah yang terjadi pergeseran lempeng tersebut dapat menimbulkan sesar atau patahan.

Aktivitas gempa bumi di Kabupaten Pacitan dikendalikan oleh adanya gerak aktif Lempeng Indo-Australia yang bergerak relative ke arah utara-timur laut dengan kecepatan 7 cm/tahun, menunjam di bawah Lempeng Eurasia yang relative diam. Interaksi kedua lempeng tersebut menyebabkan terjadinya pembentukan struktur geologi berupa lipatan, sesar geser, dan sesar normal yang berarah barat laut – tenggara, barat daya – timur laut, utara – selatan, dan barat – timur. (Zuliyanti, 2018). Menurut Kepala Pusat Gempa bumi dan Tsunami BMKG Daryono, Di Kabupaten Pacitan terjadi Gempa bumi pada 8 Juni 2023 tercatat bahwa Gempa bumi tersebut berkekuatan 5,6 M pada kedalaman 35 km. Selain itu, BMKG mencatat telah terjadi 29 kali gempa susulan usai gempa 6,0 M di Pacitan.

Sesar (*fault*) adalah rekahan pada batuan yang memperlihatkan gejala pergeseran (Zuliyanti, 2018). Salah satu sesar yang terletak di daerah Kabupaten Pacitan adalah Sesar Grindulu yang bergerak aktif dengan pergerakan 5mm/tahun yang melintang sejauh kurang lebih 50 km dan diperkirakan keberadaannya sejajar dengan Sungai Grindulu (Kumala, 2016).

Seperti gempa bumi yang terjadi di daerah Pacitan, Jawa Timur pada 16 November 2016. Tercatat bahwa gempa bumi tersebut berkekuatan 6,2 SR pada kedalaman 69 km (USGS, 2023). Gempa yang menimpa daerah tersebut merupakan gempa dengan kedalaman menengah yang terjadi karena wilayah Pacitan berhadapan langsung dengan zona megathrust selatan Jawa dan adanya asosiasi aktivitas pada zona tersebut serta adanya deformasi batuan pada lempeng Indo-Australia yang tersubduksi yang menjadi pembangkit dari gempa tersebut. Selain

itu, adanya patahan atau sesar pada daerah Pacitan yang juga dapat menjadi pemicu gempa tektonik. Sesar Grindulu membentang di 5 kecamatan, yaitu Kecamatan Bandar, Nawangan, Punung, Arjosari, dan Donorojo (Indrianti, 2013). Sebagai informasi, Skala IV MMI artinya pada siang hari, dirasakan oleh orang banyak dalam rumah, di luar oleh beberapa orang, gerabah pecah, jendela/pintu berderit dan dinding berbunyi. Sementara untuk skala V MMI artinya getaran dirasakan oleh hampir semua penduduk, orang banyak terbangun, gerabah pecah, barang-barang terpelanting, tiang-tiang dan barang besar tampak bergoyang, bandul lonceng dapat berhenti

Berdasarkan peta geologi lembar Pacitan (Zuliyanti, 2018), secara umum daerah Pacitan tersusun oleh batuan sedimen klastik, batuan gunung api, dan batuan terobosan-terobosan yang terbentuk melalui proses endapan. Tipe struktur geologi yang paling mungkin mengakibatkan kerusakan yang parah akibat bencana gempa bumi adalah struktur yang terdiri dari lapisan lapuk (*soft soil*) yang terlalu tebal di atas lapisan keras (*bedrock*). Struktur geologi regional Pacitan didominasi oleh lapisan lapuk yaitu lapisan alluvium (Qa). Menurut Riska Zuliyanti (2018) lapisan aluvium yang terdapat di Pacitan terbentuk karena adanya endapan yang terdapat di Sungai Grindulu bagian tengah sampai hilir yaitu berupa material lepas dari hasil rombakan dan pelapukan batuan berumur lebih tua yang terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, dan tanah.

Microtremor atau *ambient noise* merupakan getaran tanah dengan amplitude dalam micrometer yang ditimbulkan oleh peristiwa alam atau buatan yang muncul di sekitar lokasi pengukuran dan dapat digunakan untuk menentukan parameter dinamika tanah. (Laksana, 2021) Salah satu metode yang dapat digunakan dalam

analisis microtremor adalah metode *Horizontal to Vertikal Spectral Ratio* (HVSr). Parameter yang dihasilkan dari analisis dengan metode HVSr adalah frekuensi dominan dan factor amplifikasi. Parameter-parameter tersebut dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik struktur geologi yang dapat merusak bangunan akibat gempa bumi (Zuliyanti, 2018). Kelebihan dari Metode *Horizontal to Vertikal Spectral Ratio* (HVSr) adalah metode non-destruktif, yang berarti tidak memerlukan penggalian atau perusakan pada lokasi penelitian, Teknik HVSr relatif sederhana dalam penerapannya. Biasanya memerlukan peralatan seismik sederhana dan analisis data komputerisasi yang cukup mudah, Data yang dihasilkan dari analisis HVSr dapat memberikan informasi yang berguna tentang karakteristik struktur tanah, termasuk kecepatan gelombang tanah dan frekuensi alami tanah, HVSr memberikan gambaran tentang karakteristik struktur tanah pada skala lokal, yang dapat sangat bermanfaat dalam pemodelan respon dinamis bangunan atau struktur lainnya terhadap gempa bumi dan Metode HVSr dapat digunakan sebagai alat bantu dalam memahami sifat-sifat gempa bumi lokal dan risiko gempa di suatu wilayah.

Pergerakan getaran tanah maksimum (PGA) adalah nilai percepatan getaran tanah maksimum di suatu tempat akibat adanya Gempa bumi sehingga percepatan tanah menjadi tolak ukur dalam perhitungan bangunan tahan gempa. Semakin besar nilai PGA semakin besar pula indeks kerentanan tanah suatu daerah atau bangunan terhadap risiko seismik. Indeks kerentanan tanah adalah indeks yang menunjukkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap terjadinya Gempa bumi atau seismik. Dalam penentuan indeks kerentanan tanah faktor-faktor geologi daerah setempat perlu diperhatikan dan dapat dijadikan acuan (Putri, 2017).

Wibowo et al. (2018) melalui hasil penelitiannya telah menginterpretasi ketebalan lapisan sedimen di Kota Pacitan dan memperoleh hasil bahwa ketebalan lapisan sedimen di Kota Pacitan bagian Utara bervariasi dari 21 sampai 103 meter, di Kota Pacitan bervariasi dari 16 sampai 66 meter, dan di Kota Pacitan bagian Selatan bervariasi dari 25 sampai 275 meter. Nilai ketebalan lapisan sedimen yang diperoleh cukup tinggi dikarenakan kawasan Kota Pacitan berada di Dataran Aluvial Sungai Grindulu yang memiliki potensi mengalami amplifikasi yang cukup tinggi jika terjadi gempa bumi (Wibowo, 2018).

Berdasarkan kondisi geologi Kabupaten Pacitan yang termasuk dalam daerah rawan bencana gempa bumi, maka dibutuhkan identifikasi karakteristik dinamika tanah. Frekuensi natural dan amplifikasi merupakan karakteristik yang diidentifikasi, dan melakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai periode dominan tanah, kerentanan seismik, ketebalan lapisan sedimen, dan nilai percepatan tanah maksimum akibat bencana gempa bumi yang pernah terjadi di lokasi penelitian tersebut. Dengan adanya Peta kerentanan seismik bencana gempa bumi ini, tujuan yang diharapkan yaitu dapat menjadi referensi serta landasan dari informasi mitigasi bencana dan juga dapat digunakan dalam rencana pembangunan di Kabupaten Pacitan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian yang telah disebutkan di atas, maka rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana karakteristik dinamika tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan (F_0), amplifikasi (A_0), periode dominan (T_0), dan nilai indeks kerentanan seismic (K_g) di Kabupaten Pacitan berdasarkan data microtremor?

2. Bagaimana distribusi nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) berdasarkan data mikrotremor dan referensi gempa pada tanggal 16 November 2016 di Kabupaten Pacitan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan di atas, maka tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah sebagai berikut.

1. Untuk menentukan nilai frekuensi dominan (F_0), amplifikasi (A_0), periode dominan (T_0), dan nilai indeks kerentanan seismic (K_g) di Kabupaten Pacitan berdasarkan data mikrotremor.
2. Untuk mengetahui nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) di Kabupaten Pacitan berdasarkan referensi gempa Kabupaten Pacitan pada 16 November 2016.

1.4 Batasan Penelitian

Adanya Batasan pada penelitian ini dimaksudkan agar penulis dapat menjadi lebih terfokus dan tidak ada hal yang keluar dari topik penelitian, serta bias mendapatkan hasil yang optimal. Batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Lokasi penelitian tugas akhir ini dilakukan di wilayah Kabupaten Pacitan, Jawa Timur dengan koordinat geografis antara $111.04072^\circ BT - 111.1570282^\circ BT$ dan $8.256189645^\circ LS - 8.14321^\circ LS$.
2. Analisis data menggunakan batuan *Software* Geopsy, dan metode yang digunakan dalam mengolah data adalah metode HVSR. *Software* dan metode ini digunakan untuk mendapatkan kurva H/V sehingga memperoleh factor amplifikasi spektrum tanah dan frekuensi dominan tanah yang akan digunakan

sebagai parameter perhitungan nilai percepatan tanah, dan indeks kerentanan seismic.

3. Parameter periode dominan dan referensi gempa Pacitan pada 16 November 2016 dapat menentukan percepatan tanah maksimum (PGA) dengan perhitungan metode kanai.
4. Informasi pada penelitian ini berupa nilai periode dominan, amplifikasi, indeks kerentanan tanah (K_g), nilai percepatan tanah maksimum (PGA) dan peta zonasi.
5. Pengambilan data microtremor diukur menggunakan *Seismometer Tipe LE-3Dlite* dengan jarak pengukuran ± 2 km dan titik penelitian sebanyak 48 titik. Sedangkan data sekunder BMKG diperoleh dari instansi BMKG Stasiun Geofisika Kelas I Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta berdasarkan parameter data mikrotremor dan data Gempa bumi pada tanggal 16 November 2016.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberi manfaat sebagai berikut.

- a. Bagi mahasiswa
 - Sebagai lahan studi literatur terkait potensi gempa bumi di daerah Kabupaten Pacitan.
- b. Bagi pemerintahan daerah
 - Memberi informasi mengenai potensi gempa bumi di daerah Kabupaten Pacitan agar pemerintah setempat lebih tanggap terhadap bencana alam.
 - Dapat menjadi bahan tinjauan bagi Pemerintahan Daerah Kabupaten Pacitan dalam upaya mitigasi bencana gempa bumi yaitu sebagai pertimbangan

dalam pembangunan infrastruktur guna mengurangi dampak kerusakan akibat gempa bumi di daerah Kabupaten Pacitan.

c. Bagi Masyarakat

- Menambah pengetahuan bagi masyarakat di sekitar daerah Kabupaten Pacitan mengenai kegempaan dan upaya mitigasi bencana gempa bumi.
- Memberikan informasi kepada masyarakat untuk menumbuhkan kesadaran dan meningkatkan kewaspadaan terhadap bencana gempa bumi yang tidak dapat diprediksi waktu terjadiannya

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gempa Bumi

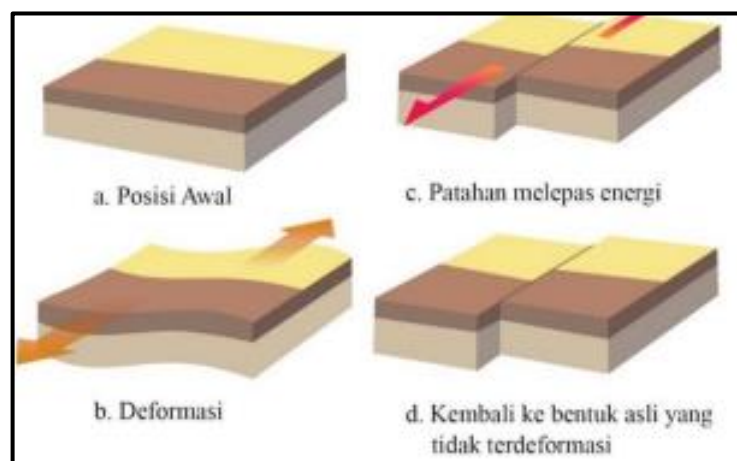
2.1.1 Pengertian Gempa Bumi

Gempa bumi adalah salah satu fenomena alam atau bencana yang berupa goncangan atau getaran pada bumi yang ditimbulkan oleh banyak faktor. Faktor seperti pergeseran lempeng bumi dan adanya aktivitas pada patahan atau sesar merupakan faktor terjadinya gempa tektonik. Adapun faktor gempa bumi lain seperti yang disebabkan oleh aktivitas magma letusan gunung berapi merupakan gempa vulkanik, gempa bumi yang disebabkan oleh reruntuhan infrastruktur atau tanah dalam kuantitas yang besar merupakan gempa runtuh dan gempa bumi yang disebabkan oleh jatuhnya benda-benda langit ke bumi seperti meteor merupakan gempa meteorik. Dapat dikatakan sesuai faktor-faktor diatas bahwa gempa bumi terjadi disebabkan oleh pelepasan energi dari dalam bumi yang menghasilkan getaran lalu menimbulkan gelombang gempa dan merambat ke permukaan bumi. Menurut Aiman (2023) gempa bumi adalah getaran bumi yang dihasilkan oleh percepatan energi yang dilepaskan, energi ini menyebar ke segala arah dari pusat sumbernya.

Teori kekenyalan elastis (*ellastic rebound theory*) menjelaskan bahwa gempa bumi terjadi diakibatkan oleh pergeseran atau pergerakan sesar yang menyebabkan pelepasan energi regangan elastis batuan, sehingga batuan akan mengalami deformasi atau perubahan bentuk (Aiman, 2023). Adanya tekanan (*stress*) dan regangan (*strain*) pada lapisan bumi merupakan penyebab batuan mengalami deformasi. Perubahan bentuk pada batuan tersebut terjadi ketika daya

dukung batuan melampaui batas regangannya yang membuat batuan patah (*rupture*) dan kembali ke bentuk semula (*rebound*).

Mekanisme terjadinya gempa bumi dapat dijelaskan sebagai berikut, batuan akan terdeformasi ketika terdapat dua buah gaya yang bekerja secara berlawanan, dikarenakan batuan memiliki sifat elastis. Apabila gaya elastis tersebut mengalami tekanan yang terus menerus dan rentang waktu yang lama, maka daya dukung yang terjadi pada batuan akan melampaui batas maksimumnya dan terjadi pergeseran. Batuan yang sudah mencapai batasnya akan mengalami patahan secara tiba-tiba, lalu batuan tersebut kembali stabil akan tetapi sudah mengalami perubahan posisi maupun bentuk. Pada saat pergeseran batuan itulah energi yang tersimpan dilepaskan dengan bentuk getaran yang disebut gempa bumi. Garis putus-putus menggambarkan posisi batuan sebelum dan sesudah daya dukung batuan mencapai batas maksimum. Sedangkan garis merah horizontal menggambarkan proses akhir terjadinya deformasi yang menghasilkan bidang sesar. Ilustrasi teori kekenyalan elastis dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2. 1 Ilustrasi Teori Elastisitas Batuan

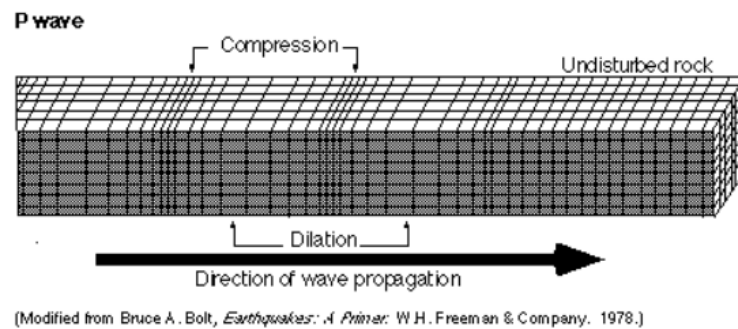
Gerakan lempeng tektonik berlangsung lambat dan tidak dapat dirasakan oleh manusia, namun terukur sebesar 0-15 cm pertahun. Kadang-kadang gerakan lempeng ini macet dan saling mengunci, sehingga terjadi pengumpulan energi yang berlangsung terus sampai pada suatu saat batuan pada lempeng tektonik tersebut tidak lagi kuat menahan gerakan tersebut, sehingga terjadi pelepasan mendadak yang kita kenal sebagai Gempa bumi. Konvergensi antarlempeng tersebut menghasilkan sejumlah zona tektonik aktif yang terdiri dari zona subduksi dan zona sesar aktif (Agustina., 2019).

2.1.2 Parameter Gempa bumi

Parameter gempa bumi merupakan hasil analisis suatu nilai atau kondisi yang menggambarkan kejadian gempa bumi berdasarkan data dan informasi aktual. Menurut Magma Indonesia, Kementrian ESDM (2021) data dan informasi yang digunakan untuk analisis adalah sebagai berikut.

1. Gelombang Primer

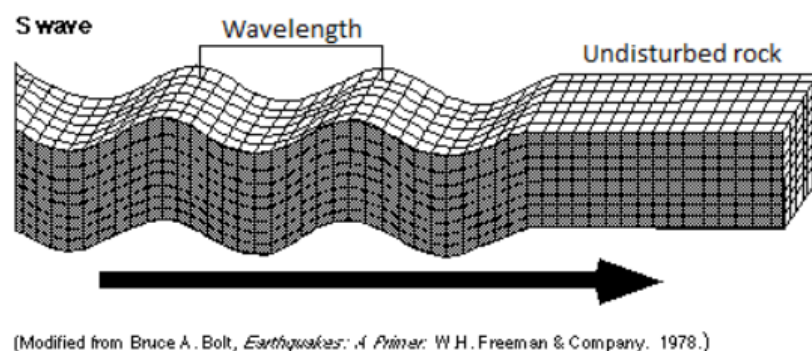
P-wave atau gelombang P dapat disebut juga dengan gelombang primer. Gelombang primer yang ditunjukkan pada **Gambar 2.2** merupakan gelombang yang arah geraknya sejajar arah jarum jam dengan arah rambatan gelombang, seperti arah desakan maupun tarikan. Gelombang ini adalah gelombang dengan rambatan tercepat diantara gelombang lainnya dan merupakan gelombang pertama yang terdeteksi di pengukuran seismik. Gelombang primer dapat mendeformasi batuan dengan cara mengubah volume melalui pemadatan dan peregangan, yaitu disaat gelombang melalui suatu medium maka dapat menekan atom-atom saling mendekat.



Gambar 2. 2 Gelombang Primer

2. Gelombang Sekunder

S-wave atau gelombang S merupakan gelombang yang bersifat transversal, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.3** arah gerakanya tegak lurus dengan arah rambatan gelombang. Gelombang sekunder memiliki kecepatan rambat yang lebih kecil sehingga terekam setelah gelombang primer. Gelombang sekunder juga dapat mendeformasi batuan namun dengan cara mengubah bentuknya, karena hanya dapat merambat di medium padat, sehingga zat cair dan gas tidak memiliki daya elastisitas untuk kembali ke bentuk semula. Gelombang S memiliki kandungan frekuensi yang lebih tinggi dibanding gelombang P. (Telford, 2023). Namun untuk amplitudonya, nilai gelombang S lebih besar daripada nilai gelombang P.



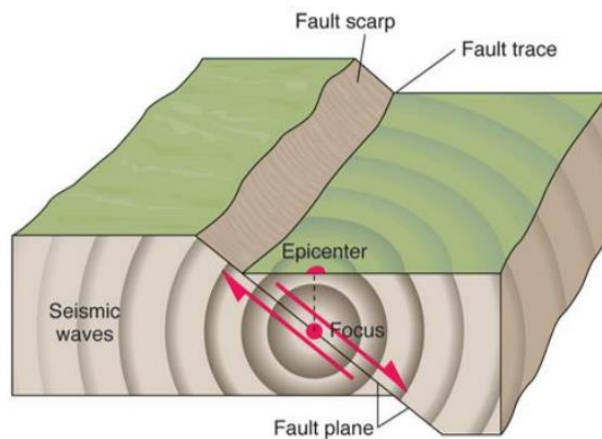
Gambar 2. 3 Gelombang Sekunder

Episenter adalah titik di permukaan bumi yang berada tepat di atas fokus atau hiposenter yang dinyatakan dalam lintang dan bujur (Magma, 2021). Gelombang gempa yang terjadi di titik episenter disebut episentrum, dimana gelombang dari hiposentrum dirambatkan ke permukaan bumi. Wilayah yang berada di titik episenter atau dekat dengan titik tersebut umumnya berpotensi terkena dampak paling besar karena merasakan getaran yang paling kuat dari titik hiposenter.

3. Hiposenter

Hiposenter merupakan pusat terjadinya gempa bumi dan sumber gelombang seismik berasal. Hiposenter juga dapat dikatakan sebagai tempat terjadinya pelepasan energi pertama saat terjadi pergeseran yang menyebabkan gempa bumi. Menurut Kanz Aiman (2023), pembagian jenis gempa bumi berdasarkan kedalaman hiposentrum adalah sebagai berikut.

- a. Gempa bumi dangkal (normal), dengan kedalaman hiposenter < 70 km
- b. Gempa bumi sedang (intermedier), dengan kedalaman hiposenter $70 - 300$ km
- c. Gempa bumi dalam, dengan kedalaman hiposenter $300 - 700$ km



Gambar 2. 4 Titik Parameter dan Hiposenter

4. Kedalaman

Gempa bumi dapat dikategorikan berdasarkan jenis kedalamannya, kedalaman gempa bumi dapat dibedakan sebagai berikut (BPBD, 2018) :

a. Gempa bumi dalam

Pusat gempa bumi ini berada pada kedalaman > 300 km di bawah permukaan bumi. Gempa ini tidak berpotensi menimbulkan dampak kerusakan yang besar dan dapat dikatakan tidak berbahaya.

b. Gempa bumi menengah

Pusat gempa bumi ini berada pada kedalaman $60 - 300$ km di bawah permukaan bumi. Gempa ini berpotensi menimbulkan dampak kerusakan yang ringan dan umumnya getarannya akan terasa hingga permukaan bumi.

c. Gempa bumi dangkal

Pusat gempa bumi ini berada pada kedalaman < 60 km di bawah permukaan bumi. Gempa ini berpotensi menimbulkan dampak kerusakan yang berat dan getarannya sangat terasa di permukaan bumi.

5. Magnitudo

Magnitudo merupakan istilah untuk menyatakan skala kekuatan atau besaran energi yang ditimbulkan oleh gempa bumi dengan menggunakan alat pengukur gempa yaitu seismograf. Proses pengukuran kekuatan ini dengan cara merekam energi yang dipancarkan dari sumber gempa menggunakan alat pengukur gempa, kemudian data yang didapatkan akan berupa bentuk gelombang lalu dihitung momen seismiknya.

6. Intensitas Gempa Bumi

Intensitas gempa bumi adalah tingkatan besarnya getaran dan jenis kerusakan akibat gempa bumi yang bergantung pada jarak antara lokasi dengan hiposenter dan kondisi geologi sekitar. Intensitas gempa bumi diukur dengan skala MMI (*Modified Mercalli Intensity*) yaitu skala yang dapat mengukur kekuatan gempa bumi. Pengamatan kerusakan secara visual merupakan parameter dalam memberikan representasi nilai kekuatan gempa bumi tersebut. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) telah mengklasifikasikan skala intensitas gempa bumi seperti yang dijelaskan pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2. 1 Intensitas Gempa Bumi Skala *Modified Mercalli Intensity* (MMI) (BMKG, 2016)

Skala SIG BMKG	Warna	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA (gal)
I	Putih	Tidak Dirasakan	Tidak dirasakan atau dirasakan hanya oleh beberapa orang tetapi terekam oleh alat	I-II	< 2,9
II	Hijau	Dirasakan	Dirasakan oleh orang banyak tetapi tidak menimbulkan kerusakan. Benda - benda ringan yang digantung	III-V	2,9-88

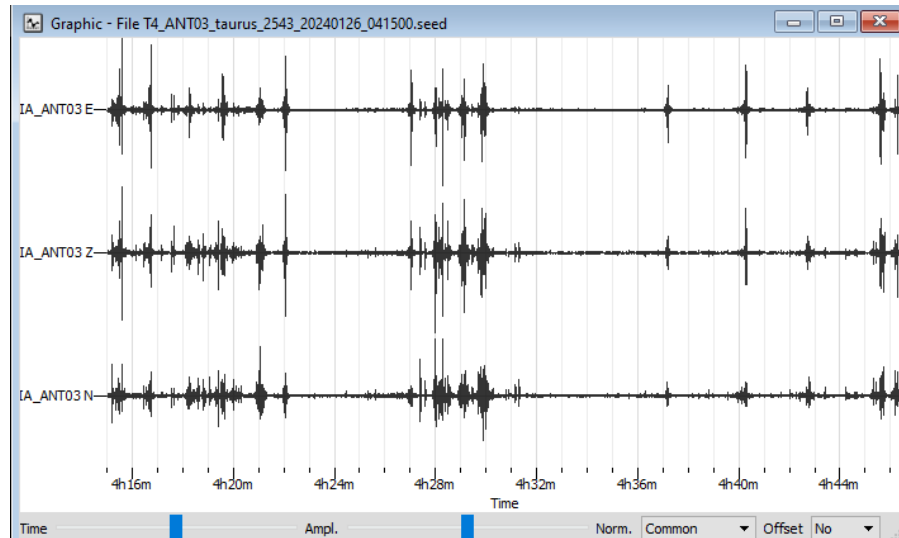
Skala SIG BMKG	Warna	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA (gal)
			bergoyang dan jendela bergetar		
III	Kuning	Kerusakan Ringan	Kerusakan ringan bagian non struktur bangunan, seperti dinding retak, genteng bergeser ke bawah dan sebagian berjatuhan	VI	89-167
IV	Jingga	Kerusakan Sedang	Banyak retakan pada dinding bangunan sederhana, sebagian roboh, kaca pecah dan sebagian plester dinding lepas. Struktur bangunan mengalami kerusakan ringan sampai sedang	VII-VIII	168-564
V	Merah	Kerusakan Berat	Sebagian besar dinding bangunan permanen roboh. Struktur bangunan mengalami kerusakan berat. Rel kereta api melengkung	IX-XII	>564

2.2 Mikrotremor

Mikrotremor adalah getaran harmonik yang sangat kecil yang terjadi secara terus menerus, terjebak dilapisan sedimen permukaan, terpantulkan oleh adanya bidang batas lapisan dengan frekuensi yang tetap, disebabkan oleh getaran mikro di bawah permukaan tanah dan kegiatan lainnya. Getaran tersebut dapat ditimbulkan oleh peristiwa alam ataupun buatan. Peristiwa buatan seperti gerak dari mesin kendaraan, industri dan aktivitas manusia lainnya di permukaan bumi. Sedangkan

peristiwa alam berupa variasi tekanan atmosfer, angin, hujan, dan gelombang air laut (Adib, 2014).

Mikrotremor digunakan untuk menentukan karakteristik dinamis seperti frekuensi dominan dan faktor amplifikasi dari lapisan tanah, dimana pengukuran ini dipopulerkan oleh Kanai dan Tanaka pada tahun 1954 dan 1961. Pengukuran mikrotremor biasanya sering dilakukan untuk melihat karakteristik lapisan tanah yang dapat dilihat dari perambatan gelombang seismik yang dihasilkan. Parameter-parameter yang dapat dilihat dari perambatan gelombang tersebut ialah variasi amplitudo, periode dan frekuensi gelombang serta kecepatan gelombang seismik. Mikrotremor memiliki frekuensi yang lebih tinggi dari Gempa bumi, memiliki periode kurang dari 0,1 detik yang secara umum antara 0,05-2 detik dan pada mikrotremor periode panjang mampu mencapai 5 detik, sedangkan amplitudonya berkisar 0,1-2,0 mikron. Mikrotremor juga terpengaruh oleh 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 (dibawah 1 Hz). Pada frekuensi sedang (1-5 Hz) sumber mikrotremor berasal dari alam (kondisi meteorologi lokal) maupun aktivitas manusia (kepadatan penduduk), dan pada frekuensi tinggi (diatas 5 Hz) sumber utamanya adalah aktivitas manusia (Agustina, 2019).



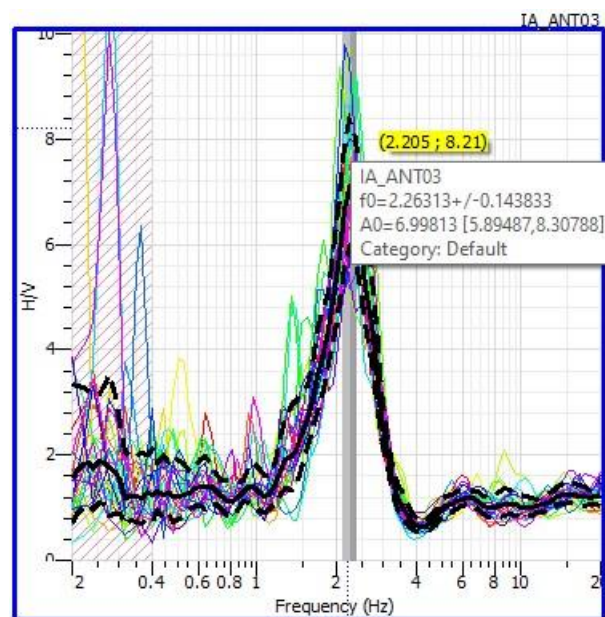
Gambar 2. 5 Contoh Hasil Pengukuran Sinyal Mikrotremor di Distrik Kabupaten Pacitan

Gambar 2.5 menunjukkan bahwa mikrotremor merupakan sinyal yang terdiri dari dua komponen horizontal yang ditunjukkan oleh spektrum stat E (Barat-Timur), dan spektrum stat N (Utara-Selatan) serta satu komponen vertikal yang ditunjukkan oleh spektrum stat Z. Mikrotremor didominasi oleh gelombang permukaan yang dapat digunakan dalam teknik kegempaan. Dalam kajian teknik kegempaan, litologi yang lebih lunak mempunyai resiko yang lebih tinggi bila diguncang gelombang gempa bumi, karena akan mengalami penguatan gelombang yang lebih besar dibandingkan dengan batuan yang lebih kompak. Hasil pengukuran mikrotremor di lapangan berupa data getaran tanah dalam fungsi waktu (Sudrajat, 2016).

2.3 Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr)

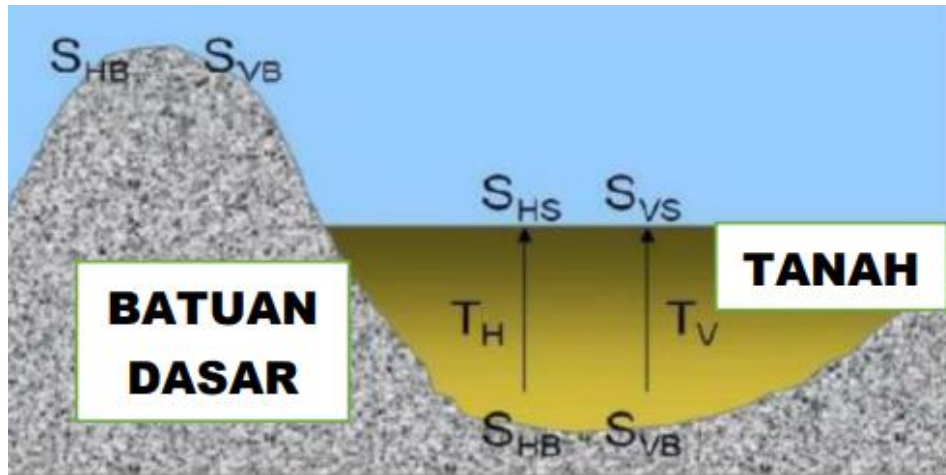
Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) adalah metode yang diperkenalkan oleh Nogoshi dan Igarashi pada tahun 1971, kemudian dikembangkan dan disempurnakan oleh Nakamura (1989) metode ini merupakan salah satu cara untuk mengetahui karakteristik dinamika pada lapisan permukaan tanah. Nakamura (1989) menyatakan bahwa pengaplikasian *ambient vibration* pada

metode HVSR dapat diterapkan untuk menganalisis frekuensi dominan dan amplifikasi tanah dari lapisan sedimen (Nakamura, 1989). Metode HVSR berguna untuk menganalisis adanya potensi bahaya terhadap tingkat kerentanan bencana Gempa bumi di suatu daerah. Hasil analisis dari metode HVSR adalah puncak kurva H/V yang memperlihatkan informasi *site effect* dari gelombang yang terekam dalam tanah berupa nilai frekuensi resonansi dan faktor amplifikasi, kedua nilai tersebut menggambarkan karakteristik dinamika lapisan tanah di permukaan. Berikut merupakan ilustrasi kurva H/V pada **Gambar 2.6**



Gambar 2. 6 Kurva H/V dengan Metode HVSR

Menurut Nakamura (2000) gerakan komponen horizontal dan vertikal pada permukaan tanah didasarkan oleh rambatan gelombang seismik yang bersentuhan dengan batuan dasar di cekungan yang menghasilkan faktor amplifikasi. Faktor amplifikasi horizontal (T_0) dan vertikal (T_v) di bandingkan untuk mendapatkan *site effect* (T_{site}) (Nakamura, 2000).



Gambar 2. 7 Pemodelan Cekungan yang Terisi oleh Batuan Lunak

Menurut Arif (2023) Gambar 9 dapat digambarkan ilustrasi gerakan seismik di permukaan tanah dimana faktor amplifikasi atau amplitudo dari gerakan horizontal dan vertikal pada permukaan tanah bersentuhan langsung dengan batuan dasar di area cekungan, faktor amplifikasi dari gerakan horizontal dan vertikal pada lapisan sedimen dilambangkan dengan T_H dan T_V (Arif, 2023). Sehingga dapat diambil persamaan faktor amplifikasi horizontal (T_H) adalah sebagai berikut :

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (2.1)$$

Dengan :

S_{HS} : Spektrum sinyal mikrotremor yang berasal dari komponen horizontal pada permukaan tanah.

S_{HB} : Spektrum sinyal mikrotremor yang berasal dari komponen horizontal pada lapisan dasar tanah

Dan faktor amplifikasi vertikal dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (2.2)$$

Dengan :

S_{VS} : Spektrum sinyal mikrotremor yang berasal dari komponen horizontal pada permukaan tanah

S_{VB} : Spektrum sinyal mikrotremor yang berasal dari komponen horizontal pada lapisan dasar tanah

Menurut Putri (2017), metode ini ditemukan pertama kali oleh Nogoshi dan Iragashi (1971) yang menjelaskan bahwa adanya perbandingan antara komponen horizontal dan vertikal pada gelombang Rayleigh terhadap kurva eliptisitas dan metode ini disempurnakan oleh Nakamura (1989) yang menerangkan tentang rasio antara spektrum horizontal dan vertikal memiliki hubungan dengan fungsi site transfer sebagai fungsi frekuensi. Perbandingan spektrum horizontal dan vertikal dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$T_{SITE} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (2.3)$$

$$T_{SITE} = HVSR = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (2.4)$$

$$T_{SITE} = HVSR = \frac{\sqrt{S_{(Utara-Selatan)}^2 + S_{(Barat-Timur)}^2}}{S_{VS}} \quad (2.5)$$

Dengan :

HVSR : Horizontal to Vertikal Spektrum Ratio

S_{HS} : Spektrum arah Horizontal

S_{VS} : Spektrum arah Vertikal

$S_{(Utara-Selatan)}$: Spektrum horizontal arah utara-selatan

$S_{(Barat-Timur)}$: Spektrum horizontal arah barat-timur

Metode ini mempunyai keuntungan yaitu hanya membutuhkan satu stasiun dengan prosedur yang sangat sederhana membandingkan spektral horizontal dan vertikal. Teknik ini memberikan kemudahan dalam pengumpulan data dan dapat menerapkannya juga pada daerah dengan kegempaan rendah maupun tidak ada (Aswad, 2018)

Kelebihan dari metode HVSR sebagai berikut:

1. Non-Destruktif : HVSR adalah metode non-destruktif, yang berarti tidak memerlukan penggalian atau perusakan pada lokasi penelitian. Hal ini membuatnya cocok untuk digunakan dalam studi lingkungan dan konservasi.
2. Sederhana dalam Penerapan : Teknik HVSR relatif sederhana dalam penerapannya. Biasanya memerlukan peralatan seismik sederhana dan analisis data komputerisasi yang cukup mudah.
3. Biaya Rendah : Dibandingkan dengan beberapa metode geoteknikal lainnya, biaya pelaksanaan HVSR relatif rendah. Ini karena tidak memerlukan peralatan mahal atau bahan kimia khusus.
4. Menghasilkan Informasi yang Berguna : Data yang dihasilkan dari analisis HVSR dapat memberikan informasi yang berguna tentang karakteristik struktur tanah, termasuk kecepatan gelombang tanah dan frekuensi alami tanah. Informasi

ini penting dalam perencanaan konstruksi, mitigasi risiko gempa bumi, dan penilaian risiko geoteknikal.

5. Pengukuran Lokal : HVSR memberikan gambaran tentang karakteristik struktur tanah pada skala lokal, yang dapat sangat bermanfaat dalam pemodelan respon dinamis bangunan atau struktur lainnya terhadap gempa bumi.

6. Mendukung Penelitian Gempa Bumi : Metode HVSR dapat digunakan sebagai alat bantu dalam memahami sifat-sifat gempa bumi lokal dan risiko gempa di suatu wilayah. Informasi yang diperoleh dari analisis HVSR dapat digunakan untuk meningkatkan pemahaman tentang geologi dan geofisika lokal.

Kekurangan dari metode HVSR sebagai berikut:

1. Sensitivitas Terhadap Variasi Lingkungan : Metode HVSR dapat sensitif terhadap perubahan lingkungan sekitar situs pengukuran. Variasi dalam kepadatan tanah, geometri lapisan tanah, dan kondisi topografi dapat memengaruhi hasil pengukuran HVSR, sehingga interpretasi yang akurat memerlukan pengetahuan yang mendalam tentang kondisi geologi dan topografi setempat.

2. Ketergantungan pada Kondisi Tanah : Metode HVSR bergantung pada sifat-sifat tanah di lokasi pengukuran. Jika karakteristik tanah berubah secara signifikan di bawah frekuensi yang diamati, hasil HVSR dapat menjadi tidak dapat diandalkan.

3. Batasan Frekuensi: Metode HVSR sering kali hanya efektif dalam menangkap frekuensi gelombang yang lebih rendah. Hal ini dapat menyebabkan informasi yang kurang akurat tentang respons spektral pada frekuensi tinggi, yang mungkin penting dalam beberapa aplikasi, seperti bangunan yang lebih tinggi.

4. Keterbatasan Interpretasi: Hasil HVSR sering kali memerlukan interpretasi yang cermat oleh ahli untuk mendapatkan informasi yang berguna tentang perilaku seismik situs. Ini memerlukan pemahaman yang mendalam tentang prinsip-prinsip seismologi dan geoteknik, serta pengalaman dalam menganalisis data seismik.

5. Keterbatasan dalam Pengukuran Lapangan : Proses pengukuran lapangan untuk mendapatkan data HVSR dapat membutuhkan waktu dan sumber daya yang signifikan. Hal ini dapat membuatnya kurang praktis untuk digunakan dalam situasi di mana waktu dan sumber daya terbatas.

2.4 Frekuensi Dominan

Frekuensi natural merupakan nilai frekuensi yang sering muncul pada daerah penelitian, dimana frekuensi natural dapat menggambarkan lapisan bawah permukaan tanah. Nilai frekuensi natural diperoleh dari sumbu horizontal puncak kurva H/V (Sitorus et al, 2017). Peta sebaran nilai frekuensi natural dapat diperoleh dengan melakukan pengolahan data melalui *software Surfer*. Frekuensi dominan atau frekuensi natural adalah banyaknya gelombang yang terjadi dalam satuan waktu. Frekuensi dominan dipengaruhi oleh besarnya kecepatan rata-rata dan ketebalan sedimen di bawah permukaan. Nilai frekuensi dominan sendiri diperoleh dengan menganalisis sumbu horizontal puncak kurva H/V. Nilai frekuensi dominan mewakili jenis tanah dan ketebalan lapisan sedimen, yaitu merupakan gambaran dari karakteristik geologi berdasarkan respon terhadap Gempa bumi di suatu daerah, sehingga kondisi struktur bawah permukaan di daerah tersebut menentukan tinggi atau rendahnya nilai frekuensi dominan. Daerah dengan nilai frekuensi dominan yang tinggi menggambarkan bahwa daerah tersebut memiliki sedimen yang tipis serta tanah yang keras, sedangkan nilai frekuensi dominan yang rendah

menandakan bahwa daerah tersebut memiliki sedimen yang tebal dan tanah yang lunak. Pengklasifikasian tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan dapat dilihat pada **Tabel 2.2** berikut ini

Tabel 2. 2 Klasifikasi Batuan Berdasarkan Frekuensi Dominan Menurut Kanai (Hanifah, 2023)

Klasifikasi Batuan		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Batuan Kanai	Deskripsi Tanah
Tipe	Jenis			
Tipe I	Jenis I	<2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpur dengan kedalaman 30 m atau lebih	Ketebalan permukaan sedimen sangat tebal.
Tipe II		2,5 – 4	Batuan alluvial dengan ketebalan sedimen >5m. terdiri dari <i>sandy gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i> .	Ketebalan permukaan sedimen masuk dalam kategori tebal, sekitar 10 – 30 m
Tipe III		4 – 10	Batuan alluvial dengan ketebalan sedimen 5m. terdiri dari <i>sandy gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i> .	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam Kategori menengah, 5 – 10 m
Tipe IV	Jenis II	6,667 - 20	Batuan tersier atau berumur lebih tua. Terdiri dari batuan <i>hard sandy</i> , <i>gravel</i> .	Ketebalan permukaan sedimen tipis didominasi batuan keras

2.5 Periode Dominan

Nilai periode dominan tanah dibutuhkan dalam menentukan nilai percepatan tanah di suatu tempat. Nilai periode dominan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$T_0 = \frac{1}{f_0} \quad (2.6)$$

Dimana :

T_0 : Periode dominan (s)

f_0 : Frekuensi Dominan (Hz)

Dengan T_0 adalah periode dominan (s) dan f_0 adalah frekuensi natural (Hz), maka nilai-nilai frekuensi natural perlu dicari sebelum menentukan nilai periode dominan tanah di suatu tempat. Untuk mencari nilai frekuensi natural tanah, bisa digunakan metode *Horizontal to Vertikal Spectral Ratio* (HVSr). Kondisi tanah daerah setempat mempengaruhi karakteristik gelombang Gempa bumi selama Gempa bumi terjadi. Gelombang seismik pada saat menjalar terjebak dalam lapisan tanah lunak dan fenomena multi refleksi, sehingga menghasilkan getaran tanah yang sesuai dengan periode. Periode tersebut dinamakan periode dominan tanah (Agustina, 2019)

Tabel 2. 3 Klasifikasi Batuan Berdasarkan Periode Dominan Menurut Kanai-Omote Nakajiwa (BMKG, 2016)

Klasifikasi Batuan		Periode Dominan (To) Detik	Keterangan	Karakter
Kanai	Omote - Nakajima			
Jenis I	Jenis A	0,05 – 0,15	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>hard sandy, gravel</i>	Keras
Jenis II		0,15 – 0,25	Batuan <i>alluvial</i> dengan ketebalan 5 m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam.</i>	Sedang
Jenis III	Jenis B	0,25 – 0,40	Batuan <i>alluvial</i> , hampir sama dengan jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi <i>bluff.</i>	Lunak
Jenis IV	Jenis C	>0,40	Batuan <i>alluvial</i> , yang terbentuk dari	Sangat Lunak

Klasifikasi Batuan		Periode Dominan (To) Detik	Keterangan	Karakter
Kanai	Omote - Nakajima			
			sedimentasi <i>delta, top soil</i> , lumpur, dll. Dengan kedalaman 30 m atau lebih.	

2.6 Amplifikasi

Amplifikasi merupakan suatu penguatan atau perbesaran gelombang tanah yang terjadi akibat perubahan yang signifikan antarlapisan dengan kata lain nilai amplifikasi mengalami perbesaran jika merambat dari satu medium ke medium lain yang lebih lunak. Semakin signifikan perubahan antarlapisan, maka semakin besar nilai amplifikasinya (Putri, 2017)

M. Kanz Aiman (2023) menyatakan bahwa, amplifikasi berbanding lurus dengan nilai perbandingan spektral horizontal dan vertikalnya (H/V). Nilai amplifikasi bisa bertambah jika batuan telah mengalami deformasi (pelapukan, pelipatan atau pergeseran) yang mengubah sifat fisik batuan. (Aiman, 2023)

Nilai faktor amplifikasi merepresentasikan penguatan getaran tanah saat terjadi gempa bumi. Tanah sedimen lunak merupakan suatu parameter yang menandakan bahwa daerah tersebut memiliki nilai amplifikasi besar. Daerah dengan permukaan yang tersusun dari batuan akan memiliki nilai amplifikasi lebih kecil dibandingkan daerah yang permukaannya tersusun dari sedimen lunak. Antara sedimen dengan bedrock, daerah dengan sedimen yang lunak akan memiliki nilai kontras yang besar, dan batuan yang mengalami deformasi atau pelapukan juga merupakan tambahan suatu faktor amplifikasi. Klasifikasi nilai amplifikasi dapat dilihat pada **Tabel 2.4**

Tabel 2. 4 Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi (Aiman, 2023)

Zona	Klasifikasi	Nilai Faktor Amplifikasi
1	Rendah	< 3
2	Sedang	$3 - 6$
3	Tinggi	$6 - 9$
4	Sangat Tinggi	≥ 9

2.7 Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Pengukuran dalam metode mikroseismik dilakukan untuk berbagai tujuan. Salah satunya yaitu untuk mikrozonasi pada pengukuran mikroseismik untuk mikrozonasi, parameter yang dilihat diantaranya adalah amplifikasi dan indeks kerentanan seismik. Amplifikasi tanah atau *site amplification* adalah respon lapisan batuan, dalam hal ini adalah lapisan permukaan terhadap gelombang Gempa bumi. Amplifikasi menggambarkan besarnya penguatan gelombang pada saat melalui medium tertentu. Penguatan gelombang pada saat melalui suatu medium berbanding lurus dengan perbandingan antara spectral horizontal dan spectral vertikal.

Sedangkan indeks kerentanan seismik (Kg) menurut Kanz Aiman (2023) yang dikembangkan oleh Nakamura (1989) dan Huang dan Tseng (2002) bahwa indeks kerentanan tanah (Kg) mengidentifikasikan tingkat kerentanan suatu lapisan tanah yang mengalami deformasi akibat Gempa bumi dengan persamaan sebagai berikut:

$$Kg = \frac{Ao^2}{f_0} \quad (2.7)$$

Dimana :

Kg : Indeks Kerentanan Seismik (s^2/cm)

A_0 : Nilai Faktor Amplifikasi Maksimal

f_0 : Frekuensi Dominan (Hz)

Dengan A_0 dan f_0 adalah amplifikasi dan frekuensi HVSr. Nilai K_g yang tinggi umumnya ditemukan pada tanah dengan litologi batuan sedimen yang lunak. Nilai yang tinggi ini menggambarkan bahwa daerah tersebut rentan terhadap gempa dari jika terjadi gempa dapat mengalami goncangan yang kuat. Sebaliknya, nilai K_g yang kecil umumnya ditemukan pada tanah dengan litologi batuan penyusun yang kokoh sehingga saat terjadi gempa tidak mengalami banyak goncangan.

Pentingnya diketahui indeks kerentanan seismik untuk identifikasi karakteristik lokasi rawan gempa. Bila daerah dipengaruhi oleh gerakan tanah maka kerentanannya dapat dijelaskan dengan nilai indeks kerentanan seismik. Untuk mengetahui nilai indeks kerentanan seismik maka perlu diketahui nilai frekuensi dan faktor amplifikasi terlebih dahulu (Khalqillah, 2016).

Tabel 2. 5 Klasifikasi Nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g) (Amaliyah, 2017)

Zona	Nilai K_g
Rendah	< 3
Sedang	3 – 6
Tinggi	>6

2.8 Peak Ground Acceleration (PGA)

Percepatan atau akselerasi adalah suatu proses perubahan kecepatan pada benda dalam waktu tertentu. Adanya gaya pada benda atau objek tersebut yang membuat terjadinya akselerasi. Percepatan tanah maksimum atau *peak ground acceleration* merupakan parameter percepatan gelombang seismik, percepatan tanah maksimum adalah nilai perubahan kecepatan pada getaran tanah maksimal

yang disebabkan oleh gelombang gempa bumi. Nilai percepatan tanah maksimum pada suatu titik dapat dihitung dengan mengetahui magnitudo dan jarak sumber gempa bumi atau hiposenter yang pernah terjadi di titik tersebut, dan dengan memperhatikan nilai periode dominan tanah di wilayah tersebut.

Percepatan getaran tanah puncak merupakan nilai percepatan getaran tanah tertinggi yang pernah didapatkan di suatu tempat atau daerah akibat gempa bumi. Dalam menganalisis kerentanan gempa bumi suatu wilayah, nilai percepatan tanah maksimum menjadi parameter penting karena nilai tersebut dapat memberikan data mengenai kekuatan gempa yang sebelumnya pernah terjadi di wilayah tersebut. Besar kecilnya nilai PGA permukaan dapat mempengaruhi potensi bahaya dan kerusakan akibat gempa bumi pada suatu wilayah, jika nilai PGA permukaan tersebut besar maka potensi terjadinya gempa bumi semakin besar untuk terjadi.

Tingkat kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi pada dasarnya dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti, kekuatan dan kualitas bangunan, keadaan geologi dan percepatan tanah di lokasi setempat. Faktor-faktor tersebut merupakan suatu parameter percepatan tanah, maka dapat dikatakan data PGA permukaan adalah komponen penting dalam memvisualisasikan tingkat kerentanan dan rawan bencana Gempa bumi di suatu wilayah.

Pengukuran percepatan tanah dapat diukur secara langsung di lokasi penelitian dengan menggunakan alat *Seismometer Tipe LE-3Dlite*. Apabila pengukuran secara langsung tidak memungkinkan, maka dapat dilakukan dengan melakukan pendekatan empiris. Pendekatan empiris merupakan pendekatan yang dilakukan di dalam penelitian yang dimaksudkan untuk mengetahui kondisi secara langsung dan

juga dengan keadaan seadanya, pendekatan ini juga didasarkan dengan uji coba dan pembuktian. Salah satu cara dalam menghitung PGA permukaan dengan pendekatan empiris yaitu dengan menggunakan metode kanai, dimana metode ini digunakan untuk menghitung nilai percepatan getaran tanah puncak. Metode kanai memperhitungkan parameter gempa bumi seperti, periode dominan tanah, magnitudo dan jarak hiposenter. Rumus empiris yang digunakan dalam metode Kanai (1961) untuk menghitung nilai percepatan getaran tanah ditunjukkan pada Persamaan 2.8 sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{a_1}{\sqrt{T_0}} 10^{a_2 M - P \log R + Q} \quad (2.8)$$

Rumus P dan Q dapat diperoleh melalui Persamaan 2.9 dan Persamaan 2.10.

$$P = a_3 + \frac{a_4}{R} \quad (2.9)$$

$$Q = a_5 + \frac{a_6}{R} \quad (2.10)$$

Nilai PGA permukaan kanai yang sudah didapatkan masih dalam satuan gal dan dapat dikonversikan ke dalam satuan g dengan Persamaan 2.11 dan PGA konversi ke dalam satuan MMI dengan Persamaan 2.12

$$Ag = \text{PGA (gal)} \times 0,0010197 \quad (2.11)$$

$$Ag = 3,66 \times \log (\text{PGA (gal)}) - 1,66 \quad (2.12)$$

Dimana :

α : Percepatan tanah titik pengukuran (gal)

T : Periode gelombang Gempa bumi (s)

T_o : Periode dominan tanah titik pengukuran (s)

M : Magnitude Gempa bumi (SR)

R : Jarak Hiposenter (km)

A_g : Percepatan di batuan dasar

Dengan konstanta-konstanta $a_1 = 5, a_2 = 0,61, a_3 = 1,66, a_4 = 3,60, a_5 = 0,167, a_6 = -1,83$. (Agustina, 2019)

2.9 Peta Kerentanan Gempa bumi

Peta merupakan representasi gambaran permukaan bumi dalam suatu bidang datar yang mengandung informasi mengenai skala, simbol dan keterangan lainnya. Peta kerentanan gempa bumi sendiri merupakan gambaran suatu kondisi wilayah yang dikategorikan sesuai tingkat kerentanan gempa bumi pada wilayah tersebut, dan memuat informasi tentang tingkat kerusakan yang dapat terjadi di sekitar wilayah tersebut. Peta kerentanan gempa bumi ini direalisasikan dengan analisis berdasarkan nilai percepatan tanah tertinggi yang dilakukan di wilayah penelitian. Nilai percepatan tanah maksimum dapat menggambarkan seberapa besar potensi kerusakan di suatu wilayah, wilayah dengan nilai percepatan tanah maksimum yang tinggi berpotensi mengalami kerusakan yang besar begitu juga sebaliknya. Contoh peta bahaya gempa bumi dapat dilihat pada **Gambar 2.8**



Gambar 2. 8 Peta Kerentanan Kabupaten Pacitan

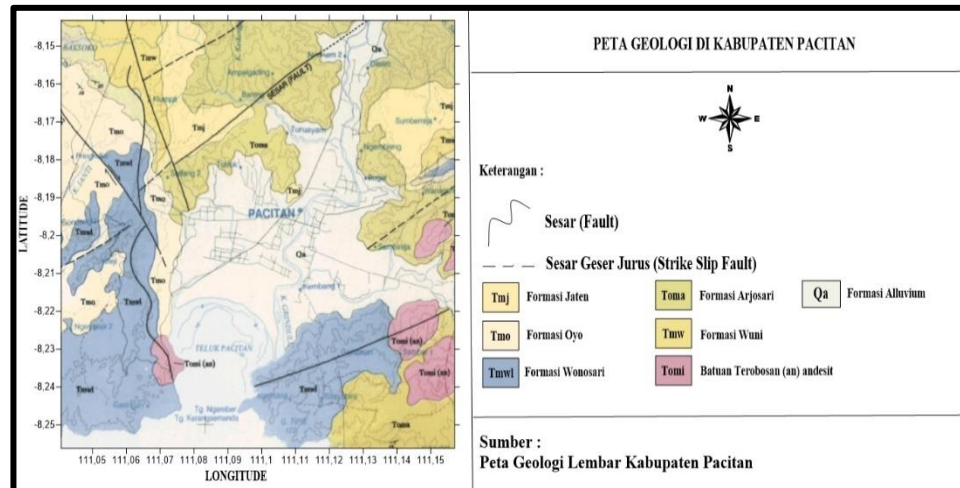
Hubungan antara kerentanan gempa dan PGA (*Peak Ground Acceleration*) bahwa PGA merupakan salah satu parameter penting yang digunakan untuk mengukur potensi kerusakan akibat gempa bumi pada suatu wilayah. Kerentanan gempa mengacu pada tingkat kepekaan atau rentan suatu wilayah, bangunan, atau infrastruktur terhadap gempa bumi. PGA adalah ukuran dari percepatan maksimum yang terjadi pada permukaan tanah selama gempa bumi. Semakin tinggi nilai PGA, semakin besar kekuatan guncangan yang dialami oleh suatu daerah selama gempa bumi. Dengan demikian, ketika nilai PGA tinggi, kerentanan suatu wilayah terhadap kerusakan akibat gempa juga cenderung lebih tinggi. Analisis kerentanan gempa sering menggunakan data PGA sebagai salah satu faktor penting dalam menilai risiko dan merencanakan mitigasi terhadap gempa bumi. Dengan memahami hubungan antara kerentanan gempa dan PGA, para ahli dapat mengidentifikasi wilayah-wilayah yang rentan dan merancang bangunan serta infrastruktur yang lebih tahan terhadap guncangan gempa.

PGA (*Peak Ground Acceleration*) adalah ukuran dari percepatan maksimum yang terjadi pada permukaan tanah selama gempa bumi. Sementara itu, metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) adalah salah satu teknik yang digunakan dalam analisis sinyal gempa untuk menentukan karakteristik dinamik dari tanah di suatu lokasi. Hubungan antara PGA dan metode HVSR adalah bahwa metode HVSR sering digunakan untuk memperkirakan respons dinamik tanah terhadap gempa bumi. Dalam analisis HVSR, percepatan horizontal tanah diukur dan dibandingkan dengan percepatan vertikal. Dari perbandingan ini, diperoleh spektrum rasio horisontal terhadap vertikal, yang memberikan informasi tentang karakteristik dinamik tanah di lokasi tersebut. PGA dapat menjadi parameter penting dalam analisis HVSR karena nilai PGA mencerminkan kekuatan guncangan yang dialami oleh tanah selama gempa. Dengan menggunakan data PGA bersama dengan analisis HVSR para peneliti dan insinyur dapat mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang respons dinamik tanah terhadap gempa bumi di suatu lokasi tertentu. Hal ini dapat membantu dalam perencanaan struktur bangunan dan infrastruktur yang lebih tahan terhadap guncangan gempa di wilayah tersebut.

2.10 Geologi Daerah Penelitian

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Pacitan, daerah penelitian berada pada Gambar 2.9 dengan formasi sebagai berikut.

- a. Formasi Alluvium (Qa) tersusun oleh material kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung dan lumpur.



Gambar 2. 9 Peta Geologi di Kabupaten Pacitan

- b. Formasi Wonosari (Tmwf) tersusun oleh material Batugamping terumbu, batugamping berlapis, batugamping berkepingan, batugamping pasir dan napal. Umur formasi ini Miosen Tengah-Miosen Akhir dan diendapkan pada laut dangkal. Terletak di atas Formasi Nampol dan menjemari dengan Formasi Oyo.
- c. Formasi Oyo (Tmo) tersusun oleh material Batupasir gampingan, batupasir tufan, batulanau gampingan, batugamping tufan, aspal pasir dan napal tufan. Umur formasi ini Miosen Tengah dan diendapkan pada lingkungan Neritik.
- d. Formasi Wuni (Tmw) tersusun oleh material Breksi gunungapi, tuf, batupasir tufan, batupasir sela dan batulanau, bersisipan lignit dan batugamping, setempat mengandung fosil kayu terkarsikkan. Formasi Wuni berumur Miosen Tengah dan terendapkan pada lingkungan transisi sampai dengan laut dangkal.
- e. Formasi Jaten (Tmj) tersusun oleh materiaa Konglomerat, batupasir konglomerat, batupasir tufan, batulumpur, batulanau, lignit, serpih

karbonan dan tuf; setempat berbelerang. Konglomerat berwarna coklat kemerahan, sebagian lapuk, terdiri dari komponen batuan beku, batulanu, batupasir, batulempung, tuf terkersikan. Batulanu berwarna kelabu coklat, terdiri dari kuarsa, feldpar, mineral lempung, sedikit kalsit dan magnetit, umumnya sebagai sisipan dan berlapis baik. Sebagian mengandung cetakan moluska. Batulempung sebagian berwarna kehijauan dan mempunyai permukaan yang licin seperti sabun (bentonit). Lignit berwarna hitam, sebagian besar berupa serpih berbitumen yang berwarna hitam kecoklatan. Sebagian sisipan tebalnya berkisaran antara 0,5-5m. Formasi ini diendapkan tidak selaras di atas Formasi Arjosari, diperkirakan berumur awal Miosen Tengah. Lingkungan pengendapannya adalah darat hingga peralihan, setempat kondisi reduksi.

- f. Formasi Arjosari (Toma) tersusun oleh material Konglomerat dengan material beragam, batupasir, batulanau, batugamping, batulempung, napal pasiran, batupasir berbatuapung, bersisipan breksi gunungapi, lava dan tuf. Formasi ini diduga berumur Oligosen akhir-Miosen awal dan diendapkan pada bawah laut yang berbatasan dengan gunungapi bawah laut. Formasi Arjosari dapat disetarakan dengan Formasi Kebo-Butak.
- g. Batuan Terobosan (Toml) tersusun oleh material (an) andesit, (da) dasit, (ba) basal, (di) diorit. Batuan beku ini menerobois batuan Oligo-Miosen, terutama formasi Mandalika dan batugamping formasi Campurdarat. Terobosan andesit, dasit, dan diorit umumnya berbentuk stock. Batuan terobosan ini dapat dibandingkan dengan Formasi Besole

2.11 Penelitian yang Relevan

Adapun penelitian – penelitian sebelumnya yang relevan dengan rencana penelitian yang akan saya lakukan adalah dalam penelitian sebelumnya yang berjudul “Analisis Tingkat Risiko Bahaya Seismik Berdasarkan Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) Menggunakan Data Mikrotremor di Wilayah Perkantoran Konawe Utara” peneliti ini menggunakan data mikrotremor sebanyak 9 titik pengukuran dan data gempa tahun 2000-2020. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan mikrozonasi potensi bahaya seismik berdasarkan nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) (Laksana, 2021)

Selain itu, penelitian lain yang dilakukan dengan judul “*Earthquake Vulnerability Mapping In Pacitan Sub-District, Pacitan Regency Using Microtremor Measurment With HVSR Method*”. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan kerentanan gempa sehingga dapat digunakan sebagai acuan dan informasi mitigasi bencana. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa beberapa wilayah dataran rendah tepatnya di Desa Nanggungan rentan dengan bencana Gempa bumi dikarenakan kondisi tanah yang lunak (Aiman, 2023).

Selanjutnya, penelitian dengan judul “*Analysis of Microtremor Parameters In Grindulu Fault Line Area In Pacitan*” mengusulkan pengukuran mikrotremor dan pemodelan *rose diagram*. Penelitian ini bertujuan mengetahui mikrozonasi nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi, menentukan nilai kecepatan gelombang S dan ketebalan lapisan sedimen dan mengetahui karakteristik Sesar Grindulu berdasarkan pemodelan *rose diagram* (Zuliyanti, 2018).

Kemudian, dalam penelitian yang berjudul “Analisis Nilai *Peak Ground Acceleration* dan Intensitas Gempa Menggunakan Metode HVSr di UIN Walisongo Semarang” penelitian ini memfokuskan pada analisis PGA dan Intensitas Gempa menggunakan metode HVSr. Metode ini merupakan non-destruktif, sederhana dalam penerapan, biaya rendah yang terus digunakan untuk karakteristik struktur tanah, kecepatan gelombang tanah dan frekuensi alami tanah (Agustina, 2019).

Selanjutnya, dalam penelitian yang dilakukan Nugroho Budi Wibowo, Juwita Nur Sembri, Deny Darmawan, Yosafat Sumardi, Fitria Afrilliani, Siti Mahmudah berjudul “Interpretasi Lapisan Sedimen berdasarkan *Ground Profile Vs* dengan Pengukuran Mikrotremor di Kecamatan Pacitan”. Dalam penelitian ini, mereka mengusulkan sebuah pengukuran mikrotremor guna menginterpretasikan ketebalan lapisan sedimen dengan pemodelan ground profile Vs (Wibowo, 2018).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di wilayah Kabupaten Pacitan. Koordinat penelitian ini terletak pada $111.04072^{\circ} BT - 111.1570282^{\circ} BT$ dan $8.256189645^{\circ} LS - 8.14321^{\circ} LS$. Waktu penelitian dilakukan pada tanggal 24 Januari 2024 – 27 Januari 2024. Detail tempat penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian di Kabupaten Pacitan

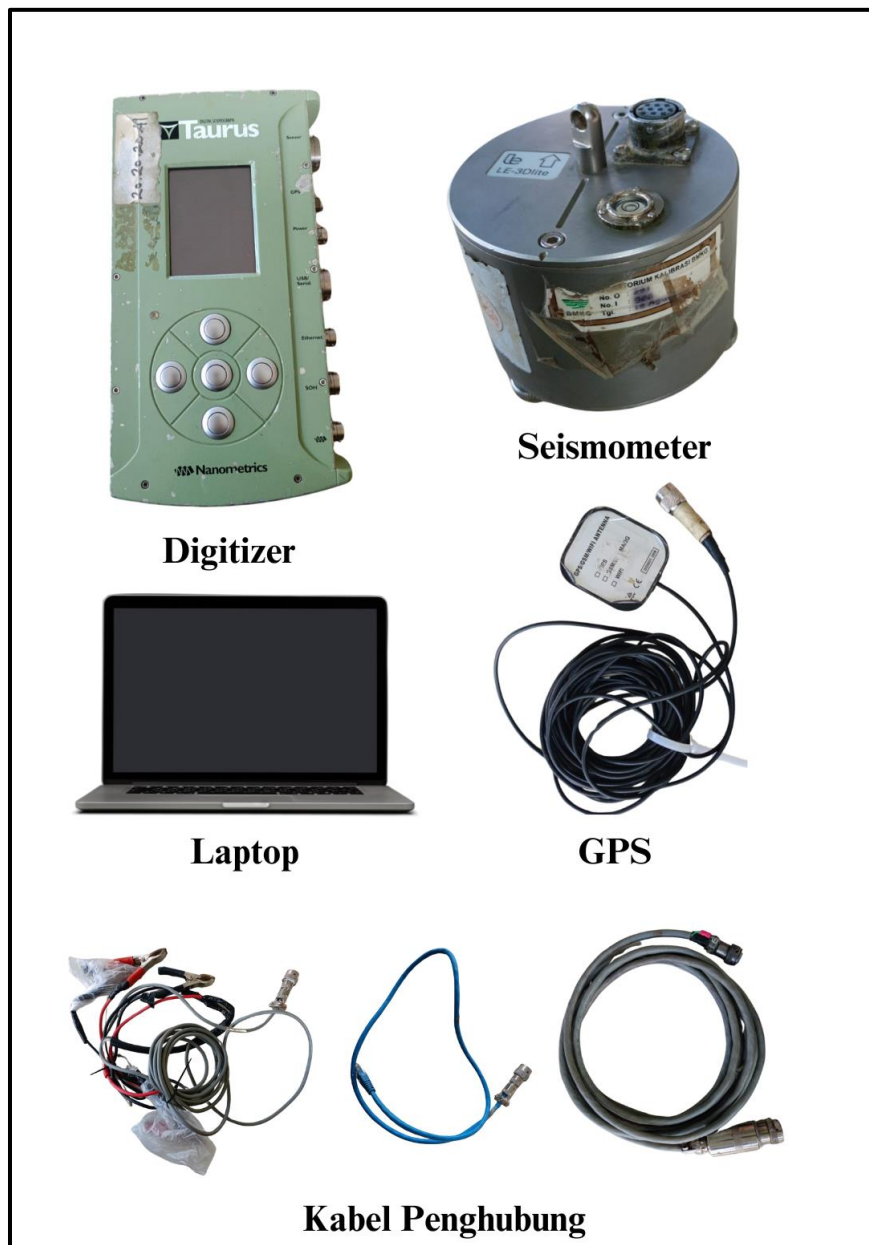
3.2 Alat dan Bahan

Adapun peralatan yang digunakan untuk penelitian ini yang terdiri dari perangkat lunak dan keras.

1. Data Mikrotremor Sekunder untuk memperluas data penelitian yang sudah diberikan dari BMKG Stasiun Geofisika Kelas I Sleman Yogyakarta.
2. Perangkat Lunak (*Software*)

- a. *Google Earth* berfungsi untuk memvisualisasikan gambaran lokasi penelitian dan menentukan titik lokasi penelitian.
 - b. *Software Geopsy* berfungsi untuk menganalisis sinyal mikrotremor dan memperoleh kurva H/V.
 - c. *Software Surfer 13* untuk membuat peta kontur dan pemodelan tiga dimensi dengan mendasarkan pada grid
 - d. *Microsoft Excel 2019* berfungsi untuk mengkonversi koordinat dan mengolah data.
 - e. *Microsoft Word 2019* berfungsi untuk menyusun laporan.
3. Perangkat Keras (*Hardware*)
- a. *Seismometer tipe LE-3Dlite* yang berfungsi untuk mengukur getaran tanah pada setiap titik pengambilan data.
 - b. *Digitizer merek Taurus* yang berfungsi untuk merekam sinyal mikrometer pada permukaan tanah yang diperoleh dari seismometer.
 - c. *Global Positioning System (GPS)* untuk menandai koordinat apabila terjadi pergeseran titik sekaligus sebagai pemandu atau *navigator* dalam menentukan posisi penelitian
 - d. Laptop untuk menampilkan sinyal yang terekam pada *digitizer*.
 - e. Satu set kabel penghubung yang menghubungkan antara seismometer ke laptop dan seismometer ke digitizer.

Perangkat keras yang sudah disebutkan diatas dapat di lihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3. 2 Perangkat Keras Pengukuran Mikrotremor

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

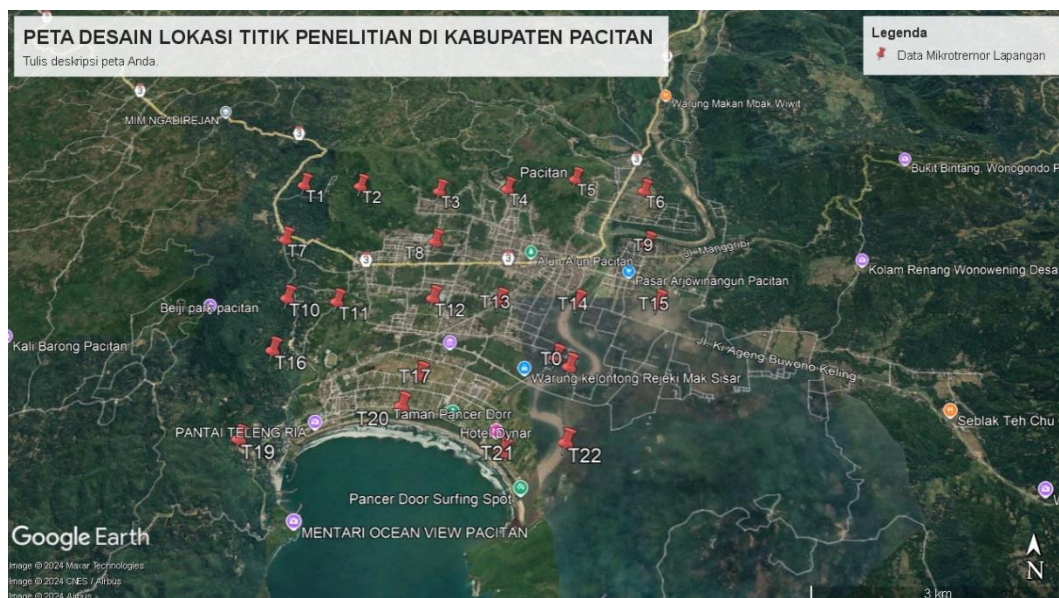
Tahap awal sebelum melakukan penelitian mencari studi literatur penelitian terdahulu untuk mencari informasi atau referensi yang menunjang penelitian.

Informasi atau referensi yang dikumpulkan berupa tulisan yang bersumber dari

jurnal, skripsi ataupun buku yang membahas tentang seismik atau tingkat risikonya di daerah penelitian serta informasi mengenai tingkat risiko seismik berdasarkan *Peak Ground Accceleration* dengan menggunakan data mikrotremor.

2. Pembuatan Desain Survei

Tahap survei bertujuan untuk mengetahui topografi atau gambaran di daerah penelitian secara langsung. Data yang akan digunakan dalam penelitian ini didapatkan melalui penelitian secara langsung di lapangan sesuai titik yang sudah ditentukan untuk mendapatkan nilai – nilai mikrotremor yang dapat dilihat pada **Gambar 3.3.** pengukuran yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan bantuan alat *Seismometer Tipe LE-3Dlite* dan *Digitizer merek Taurus*.



Gambar 3. 3 Peta Desain Titik Pengukuran Data Mikrotremor di Lapangan

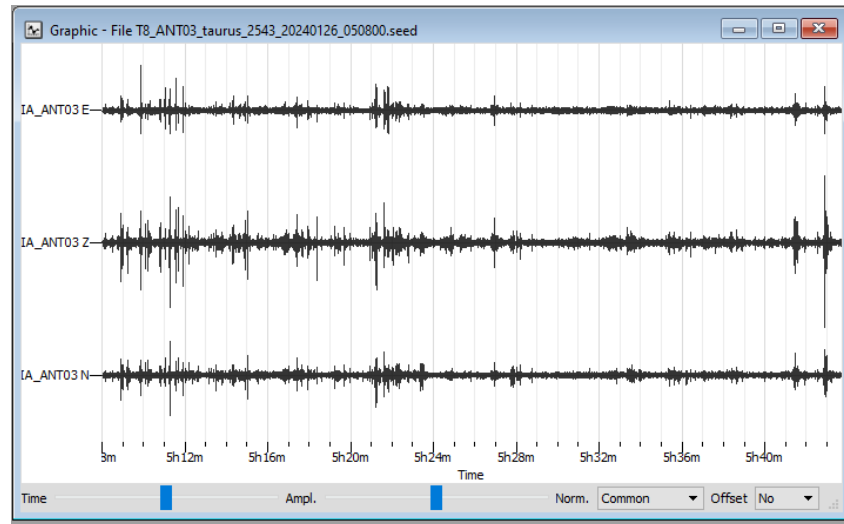
3. Pengumpulan Data

Pada tahapan ini dilakukan pengumpulan data mikrotremor di lapangan sebanyak 23 titik, sedangkan data mikrotremor yang sudah ada sebanyak 25 titik dan data gempa pada tanggal 16 November 2016 yang diperoleh dari BMKG Stasiun Geofisika Kelas I Sleman Yogyakarta

4. Pengambilan Data

Tahap pengambilan data dilakukan dengan durasi pengukuran selama ± 30 menit untuk setiap titik pengukuran dan menggunakan frekuensi *sampling* 100 Hz. Selama proses pengukuran berlangsung diharuskan untuk mengisi lembar *checklist* yang memuat waktu dan tempat penelitian, kondisi cuaca, jenis tanah, dan keberadaan bangunan atau pohon di sekitar area pengambilan data. Disarankan juga bagi peneliti untuk mengurangi pergerakan di dekat seismometer karena dapat mempengaruhi hasil pengukuran dalam bentuk *noise*.

Pengukuran sinyal mikrotremor menghasilkan 3 komponen sinyal yang terdiri dari komponen sinyal vertikal (SHZ), komponen sinyal horizontal arah barat-timur (SHE), dan komponen horizontal arah utara-selatan (SHN). Sinyal mikrotremor tersebut secara otomatis tersimpan di dalam *digitizer* yang dapat ditampilkan pada laptop seperti ditunjukkan **Gambar 3.4**.



Gambar 3. 4 Tampilan Hasil Pengukuran sinyal mikrotremor pada *Software Geopsy*

Sinyal mikrotremor dari hasil pengukuran kemudian dianalisis melalui proses *cutting* atau pemilihan sinyal tanpa *noise* untuk mendapatkan data yang baik. Jumlah *window* yang disarankan oleh *SESAME European Research Project* minimal sebanyak 10 *window* dengan panjang *window* 20 sekon untuk setiap *window*. Oleh karena itu semakin lama durasi pengukuran maka data yang diperoleh akan semakin baik (Patimah, 2017).

Tabel 3. 1 Standar operasional pengukuran mikrotremor (SESAME, 2004).

Jenis Parameter	Saran yang dianjurkan	
Durasi Pencatatan	f_g minimum yang diharapkan (Hz)	Durasi pencatatan minimum yang disarankan (menit)
	0,2	30
	0,5	20
	1	10
	2	5
	5	3
	10	2
<i>Coupling soil sensor alam (in situ)</i>	1. Atur sensor pada permukaan tanah. 2. Hindari penempatan sensor pada permukaan tanah lunak (lumpur, semak-semak) atau tanah lunak setelah hujan.	

Jenis Parameter	Saran yang dianjurkan
<i>Coupling soil sensor buatan (Artificial)</i>	1. Hindari lempengan yang terbuat dari material lunak seperti karet dan busa. 2. Pada kemiringan yang curam dimana sulit mendapatkan level sensor yang baik, pasanglah sensor menggunakan timbunan pasir atau wadah yang diisi pasir
Keberadaan Bangunan atau Pohon	1. Hindari pengukuran dekat dengan bangunan, gedung bertingkat, dan pohon yang tinggi jika tiupan angin di atas ± 5 m/s. Kondisi ini sangat mempengaruhi hasil analisis HVSR yang ditunjukkan dengan kemunculan frekuensi rendah pada kurva. 2. Hindari pengukuran di lokasi tempat parkir, pipa air, dan gorong-gorong.
Kondisi Cuaca	1. Angin: lindungi sensor dari angin jika kecepatan angin di atas ± 5 m/s. 2. Hujan: hindari pengukuran di bawah terpaan hujan lebat kecuali hujan ringan karena tidak memberikan gangguan yang berarti. 3. Suhu: memeriksa sensor seismograf dan mengikuti instruksi pabrik
Gangguan	1. Sumber monokromatik: hindari pengukuran mikrotremor dekat dengan mesin, industri, pompa air, dan generator yang sedang beroperasi. 2. Sumber sementara: jika terdapat sumber getar transient (jejak) langkah kaki, mobil lewat, motor lewat) tingkatkan durasi pengukuran untuk memberikan jendela yang cukup untuk analisis setelah gangguan tersebut hilang.

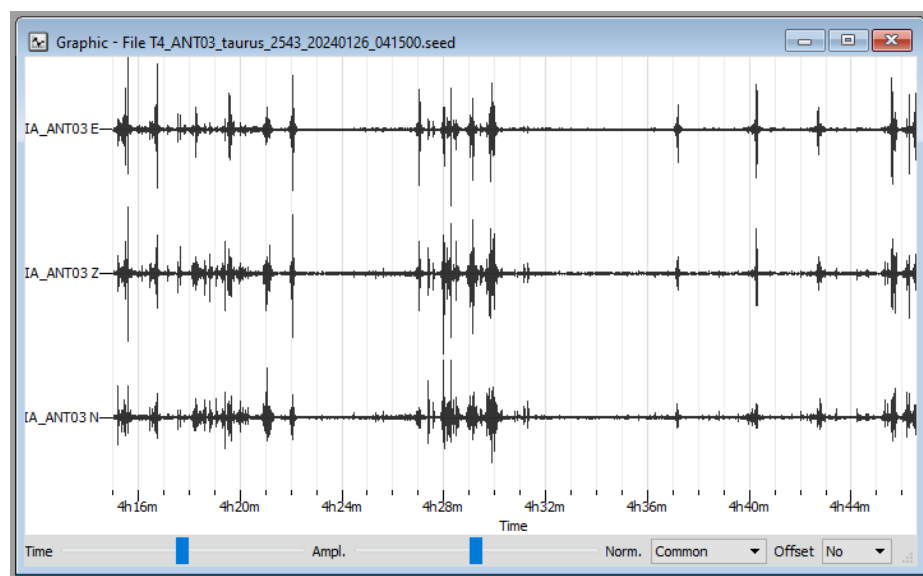
5. Pengolahan Data

Data yang sudah didapatkan dari hasil pengukuran mikrotremor, selanjutnya akan di *input* kedalam *software Geopsy*, lalu channels dipilih sesuai dengan format data mikrotremor tersebut. Kemudian tekan input data pada *windows seedlink* dan *software Geopsy* akan secara otomatis mengolah sinyal. Kurva HVSR didapatkan dengan menyesuaikan *windows* untuk memilah parameter yang dipilih secara otomatis. Pengolahan data dapat diproses lebih

lanjut dengan menginvers hasil kurva H/V. Berikut uraian penjelasan mengenai pengolahan data pada tiap - tiap parameter.

a. Pengolahan Data Mikrotremor Menggunakan *Software Geopsy*

Data pengukuran mikrotremor selanjutnya diolah menggunakan metode *Horizontal to Vertikal Spectral Rasio* (HVSr). Hasil dari data pengukuran getaran dalam fungsi tanah tergolong dari tiga komponen, yaitu komponen vertical, barat-timur dan utara-selatan. Ketiga komponen tersebut disimpan dalam format SHZ.mseed, SHN.mseed, dan SHE.mseed. sinyal mikrotremor dari tiga komponen tersebut dapat dilihat pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3. 5 Sinyal Rekaman Mikrotremor Tiga Komponen

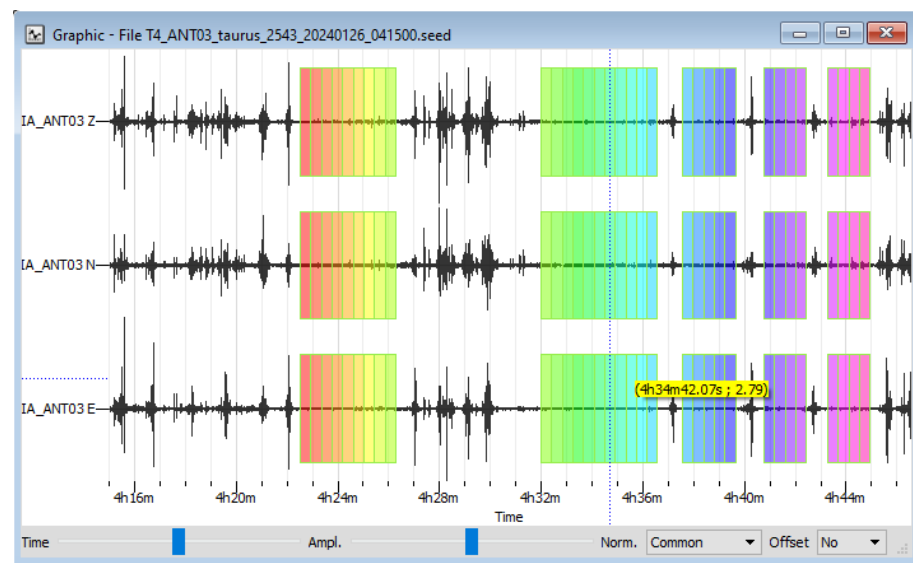
Data mikrotremor yang sudah diolah kemudian diolah kembali menggunakan *software Geopsy*, untuk memperoleh kurva H/V. Dari kurva tersebut akan didapat parameter – parameter yang diperlukan, berupa Frekuensi Natural (f_0), Amplifikasi (A_0), dan Periode Dominan (T_0).

Tahapan dalam pengolahan data menggunakan *software Geopsy* adalah sebagai berikut.

1. Buka *Software Geopsy*, pilih file dan import *signal*.
2. *Connect* dan pilih *channels* format data SHE, SHN, dan SHZ.
3. Pada *windows seed link signal loader Geopsy*, pilih start atau input data.

Dengan menekan tombol pada *toolbar*, *software Geopsy* akan menyeleksi *windows* secara otomatis akan mengolah waktu sinyal.

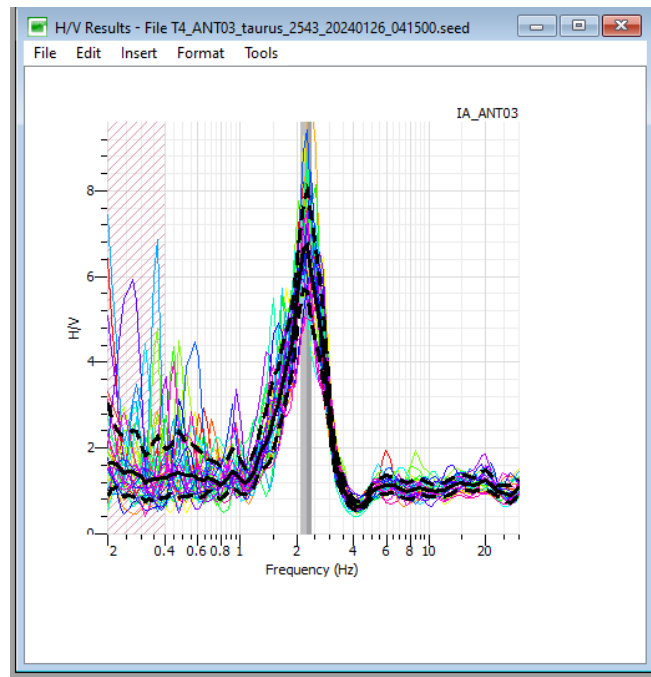
Berikut merupakan contoh sinyal saat pengolahan data pada *software Geopsy* pada **Gambar 3.6**.



Gambar 3. 6 Contoh Windowing Sinyal Mikrotremor

4. Kemudian pilih *time window* yang meliputi panjang (*length*), *range* waktu yaitu waktu pada saat mulai dan waktu maksimum *window*. Klik kanan pada tiga komponen data, pilih HV, lalu pilih *exactly* pada kolom *length*, kemudian *checklist* bagian *anti trigres on raw signal*, dan pada kolom *select* pilih auto lalu klik *start*.

5. Proses pengolahan data disesuaikan dengan *windows* untuk memilah parameter secara otomatis yang diperlukan, pilih tombol *start* untuk *software Geopsy* memulai perhitungan HVSR
6. Simpan hasil kurva H/V yang telah diolah dengan format extension .HV, berikut merupakan contoh kurva H/V pada **Gambar 3.7**.



Gambar 3. 7 Contoh Kurva H/V

- b. Perhitungan Frekuensi Dominan (f_0), Amplifikasi (A_0), Periode Dominan (T_0)

Pada penelitian ini frekuensi dominan dan amplifikasi nilai yang didapat dari hasil analisis Kurva H/V. Perhitungan periode dominan di hitung menggunakan **Persamaan 2.6**. setelah mendapatkan nilai frekuensi, amplifikasi dan periode yang didapatkan, langkah selanjutnya ialah memetakan hasil tersebut untuk melihat persebaran distribusi nilainya.

- c. Perhitungan Indeks Kerentanan Seismik (K_g)

Pada penelitian ini perhitungan indeks kerentanan seismik dihitung menggunakan **Persamaan 3.8**. Setelah nilai indeks kerentanan seismik didapatkan, langkah selanjutnya ialah memetakan hasil tersebut untuk melihat persebaran distribusi nilainya.

d. Perhitungan Percepatan Tanah Maksimum (PGA)

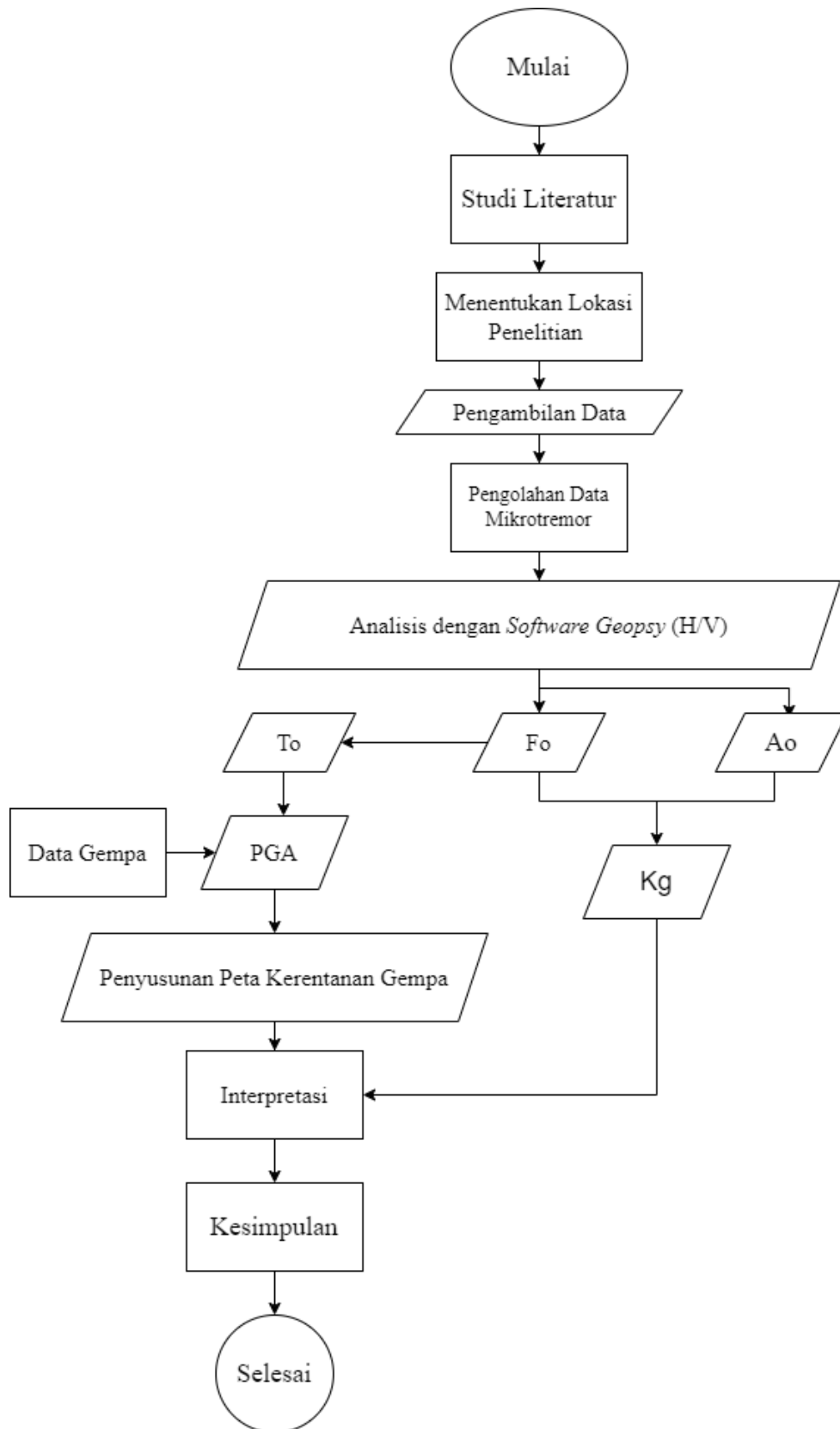
Pada penelitian ini perhitungan percepatan tanah maksimum atau *peak ground acceleration* (PGA) permukaan dihitung menggunakan persamaan metode Kanai (1996) pada **Persamaan (2.8 – 2.12)**. Hubungan PGA permukaan juga dipertimbangkan dalam parameter yang digunakan dalam perhitungan ini, parameter tersebut ialah periode dominan tanah, magnitude gempa, dan jarak pusat Gempa bumi yang terjadi pada tanggal 16 November 2016 dengan Magnitudo 6,2 SR.

3.4 Intepretasi Data

Intepretasi dilakukan dengan melihat hubungan antara frekuensi dominan, amplifikasi, indeks kerentanan seismik dan *peak ground acceleration*. Dari hasil pengolahan data mikrotremor dimana semua parameter tersebut dapat digunakan untuk pemetaan mikrozonasi.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.8**.



Gambar 3. 8 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengambilan Data di Lapangan

Pengambilan data mikrotremor yang dilakukan di lapangan dengan cara merekam melalui getaran tanah didapatkan melalui bantuan alat mikrotremor *Seismometer tipe LE-3Dlite*. Proses perekaman alat mikrotremor menyesuaikan panduan SESAME. Tahap pertama yaitu menuju titik lokasi penelitian dengan melihat *Google Earth*, selanjutnya menyesuaikan titik lokasi perekaman dengan titik lokasi sampel. Setelah titik dirasa sudah sesuai, selanjutnya ditahap kedua yaitu mempersiapkan instrument alat pada titik yang telah ditentukan seperti pada

Gambar 4.1



Gambar 4. 1 Persiapan Instrument Alat di Lokasi Titik Penelitian

Tahap ketiga dimulai dengan melakukan alat pada lapisan yang datar, lalu pastikan alat searah dengan arah mata angin utara atau gelombang berada dilingkaran tengah agar kaki-kaki alat mikrotremor seimbang. Pasang kabel aki ke *digitizer*, dan kabel penghubung lainnya. Selanjutnya tekan tombol power pada alat

beberapa detik hingga terdengar bunyi “beep” pertama yang menunjukkan alat sudah menyala, lalu tunggu hingga terdengar bunyi “beep” kedua yang menunjukkan alat sudah mulai merekam, dan menunggu proses perekaman selama ± 30 menit seperti pada **Gambar 4.2**



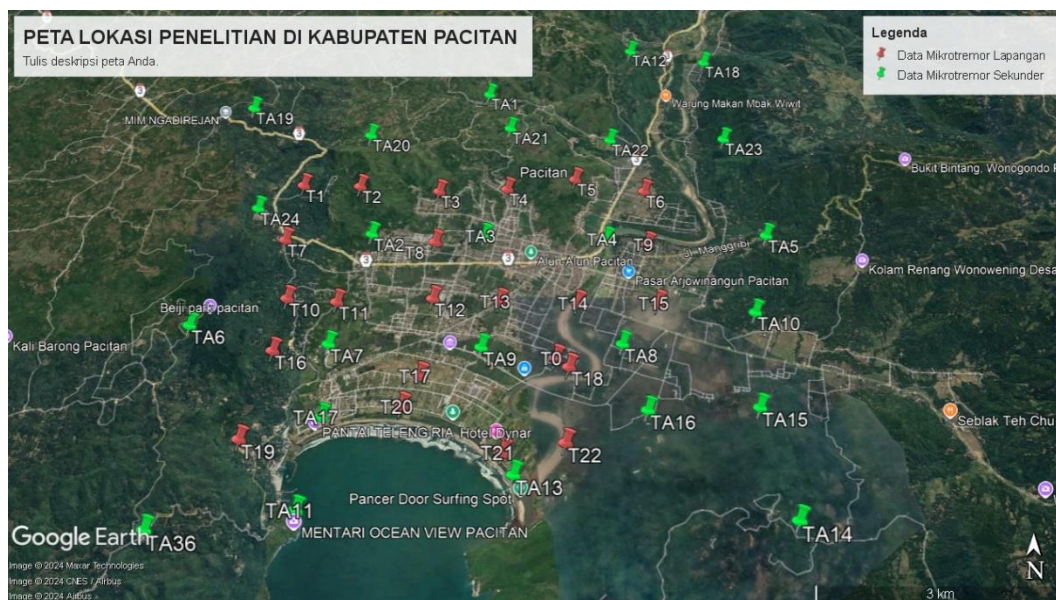
Gambar 4. 2 Proses Perekaman Sinyal Mikrotremor

Hasil yang didapatkan dari pengambilan data mikrotremor di lapangan berupa 3 jenis komponen gelombang seismik yaitu gelombang vertikal, gelombang horizontal *north-south* dan gelombang horizontal *east-west* dengan format SHZ.mseed, SHN.mseed dan SHE.mseed. selanjutnya yaitu mengolah data mikrotremor dengan metode HVSR di *Software Sesarry Geopsy*.

4.2 Pengolahan Data Mikrotremor dengan Metode HVSR di *Software Sesarry Geopsy*

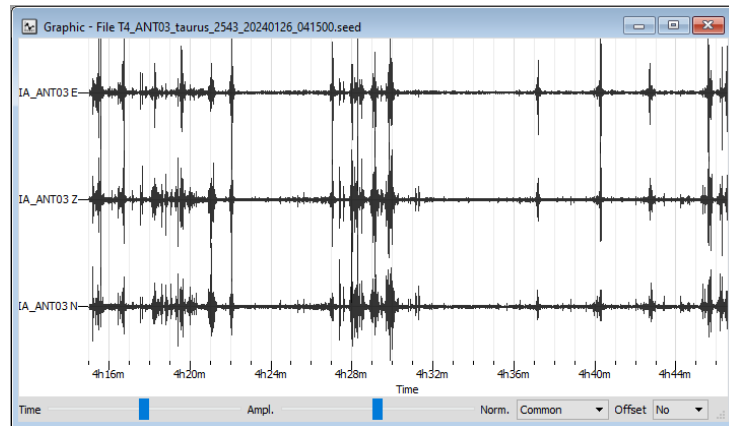
Analisis data pada penelitian kerentanan gempa di Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan ini akan memperoleh nilai akhir yakni nilai percepatan tanah maksimum (PGA) permukaan. Nilai tersebut didapatkan berdasarkan pengolahan

data frekuensi dominan (F_0), faktor amplifikasi (A_0), periode dominan (T_0), dan indeks kerentanan seismik (K_g). Penelitian ini dilakukan pada 48 titik lokasi pengukuran mikrotremor yang dapat dilihat pada **Gambar 4.3**



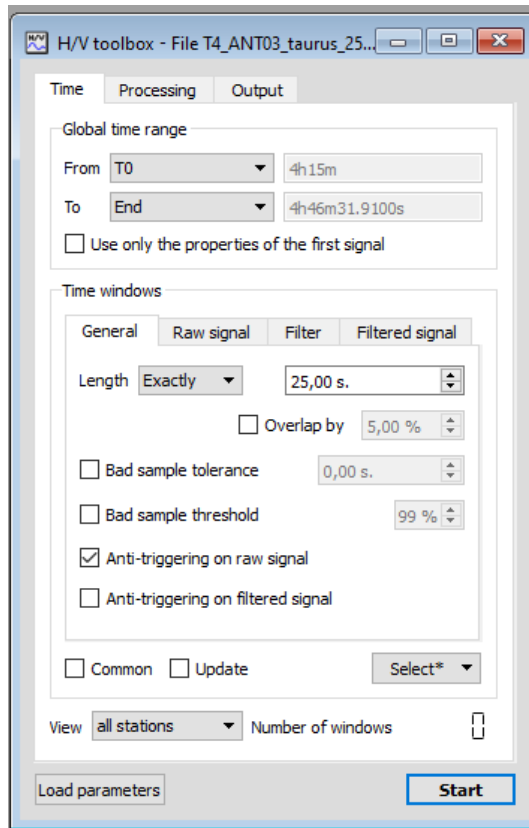
Gambar 4. 3 Peta Lokasi Titik Pengukuran Mikrotremor

Pengukuran data mikrotremor di lapangan diambil menggunakan bantuan alat Seismometer Tipe LE-3Dlite. Titik- titik pengukuran mikrotremor tersebut sesuai pada **Gambar 4.3** yang menghasilkan data sinyal gelombang seismik vertikal, gelombang seismik horizontal *north-south* dan gelombang seismik horizontal *east-west* dengan format SHZ.mseed, SHN.mseed, dan SHE.mseed. Data yang didapat kemudian diolah menggunakan *software Geopsy* yang menghasilkan grafik dari 3 komponen tersebut. Berikut merupakan contoh tampilan grafik seismogram dari hasil perekaman mikrotremor di Kabupaten Pacitan pada **Gambar 4.4** sebagai berikut.

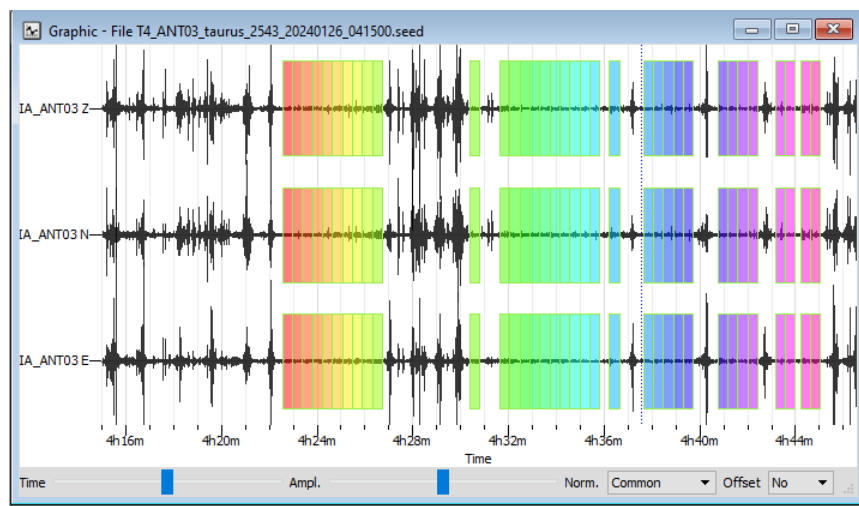


Gambar 4. 4 Grafik Seismogram Hasil Perekaman Mikrotremor Titik 4

Setelah ketiga komponen data tersebut ter-*input* pada *geopsy*, langkah selanjutnya adalah proses *filtering options* dan *windowing* atau pemilihan gelombang sinyal yang bebas dari *noise*. Pemilihan gelombang sinyal ini perlu dilakukan karena dalam pengukuran secara langsung di lapangan, karena getaran yang terekam pada alat mikrotremor bukan hanya dari getaran dalam tanah, namun juga dapat berasal dari aktivitas manusia dan benda – benda disekitarnya. Pemilihan *window* dilakukan dengan metode *auto select* dengan panjang grafik 25 s, dan filter yang digunakan yaitu *Anti-triggering on raw signal*. Contoh proses *filtering* dan *windowing* pada titik 4 dapat dilihat pada **Gambar 4.5** dan **Gambar 4.6** sebagai berikut.

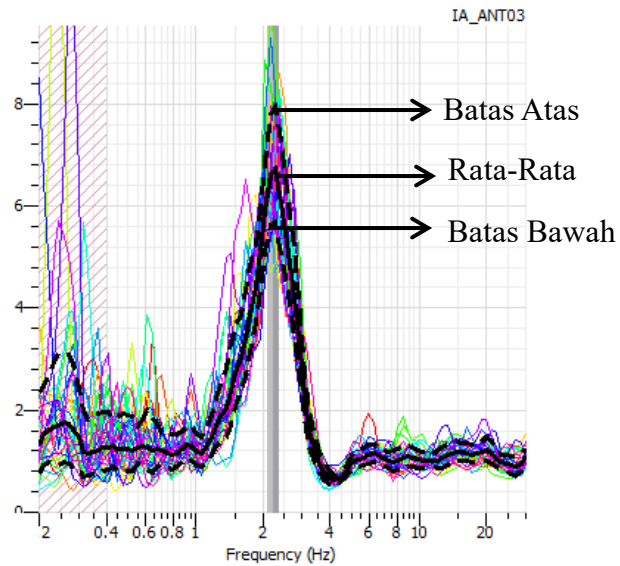


Gambar 4.5 *Filtering Options* untuk *Windowing* Sinyal Mikrotremor Titik 4



Gambar 4.6 *Windowing* Sinyal Mikritremor Titik 4

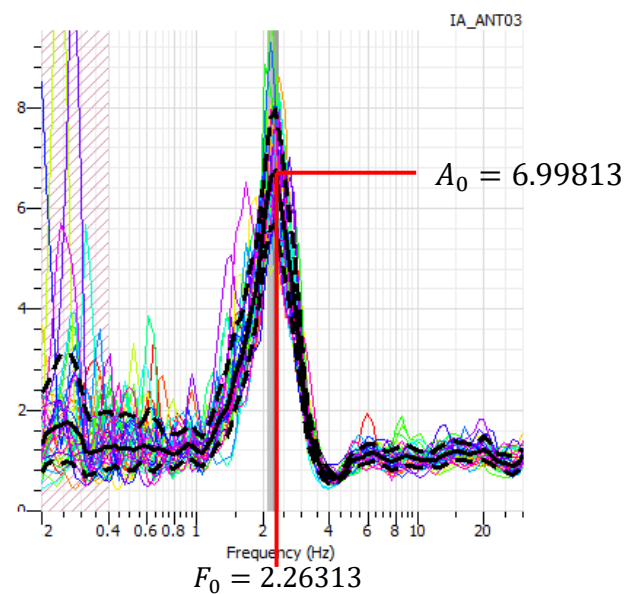
Hasil yang ditunjukkan setelah proses *filtering* dan *windowing* akan membentuk kurva HVSR seperti pada **Gambar 4.7**



Gambar 4. 7 Grafik Kurva HVSR Titik 4

Kurva HVSR yang telah diperoleh akan menghasilkan nilai frekuensi dominan dan amplifikasi maksimum dari nilai puncak grafik H/V seperti pada

Gambar 4.8



Gambar 4. 8 Nilai Puncak Kurva HVSR Titik 4

4.3 Analisis Nilai Faktor Amplifikasi (A_0)

Nilai amplifikasi merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kerusakan infrastruktur dari efek yang diakibatkan oleh gempa. Nilai amplifikasi (A_0) dapat menggambarkan sifat fisik sedimen pada suatu daerah. Hal tersebut karena nilai faktor amplifikasi tanah berkaitan dengan lapisan sedimen dibawahnya, jika suatu daerah memiliki nilai amplifikasi tanah yang besar maka lapisan sedimen tersebut lunak, dan sebaliknya jika nilai amplifikasi tanah yang kecil maka lapisan sedimen tersebut keras. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa dengan nilai amplifikasi (A_0) yang besar maka semakin besar juga potensi kerusakan yang terjadi akibat gempa karena sedimen di daerah tersebut semakin lunak.

Nilai faktor amplifikasi (A_0) di Kabupaten Pacitan berkisar antara 1,62308 sampai 10,8159 seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.1** berikut.

Tabel 4. 1 Nilai Amplifikasi (A_0) di Kabupaten Pacitan

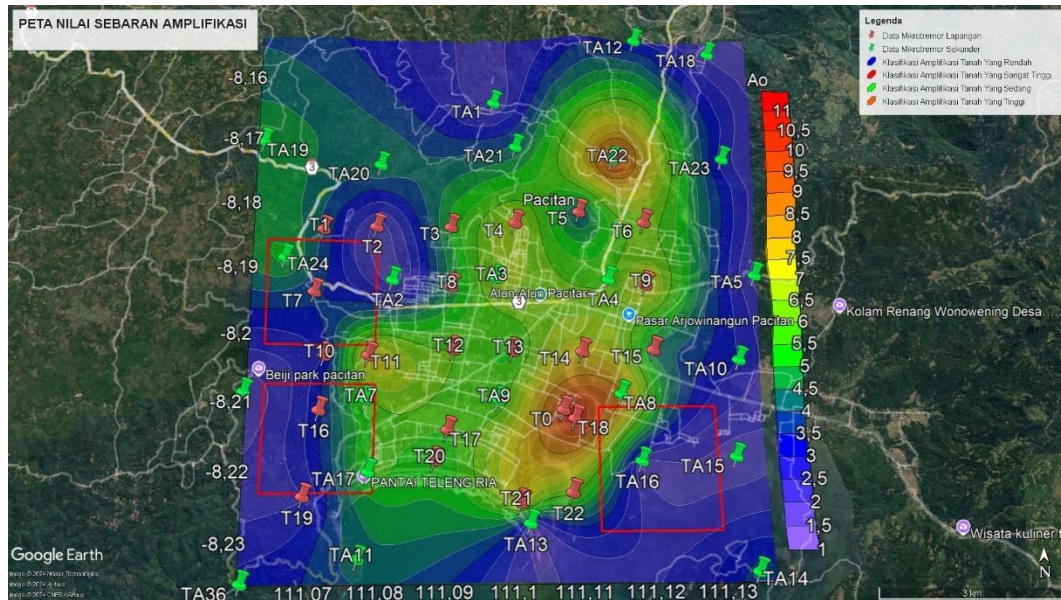
Titik	Nilai (A_0)	Titik	Nilai (A_0)
T0	10.0343	TA9	5.57154
T21	7.451	TA11	4.33462
T20	4.96912	TA13	1.8529
T13	5.32833	TA17	5.62892
T6	6.21385	TA19	4.89422
T9	7.43614	TA24	5.17749
T15	4.17315	TA3	6.71846
T14	7.4443	TA4	5.88009
T22	6.0268	TA5	1.71064
T17	5.49131	TA8	8.69069
T12	6.01752	TA14	3.81397
T18	10.8159	TA15	1.72056

Titik	Nilai (A_0)	Titik	Nilai (A_0)
T1	3.818	TA18	1.89283
T7	3.56163	TA22	10.2991
T2	1.64212	TA23	2.69778
T11	7.9694	TA10	2.96559
T10	3.04432	TA1	2.05118
T16	3.44992	TA2	1.68953
T19	2.46817	TA12	3.04996
T5	3.71243	TA16	1.7899
T4	6.99813	TA20	4.48558
T8	4.70631	TA21	4.1936
T3	5.28688	TA36	3.25411
TA6	1.62308	TA7	5.79018

Berdasarkan nilai faktor amplifikasi (A_0) yang didapatkan dari hasil pengukuran mikrotremor di Kabupaten Pacitan, maka dapat ditentukan zona klasifikasi berdasarkan nilai faktor amplifikasi seperti berikut (Aiman, 2023):

1. Amplifikasi Rendah : $A_0 < 3$
2. Amplifikasi Sedang : $3 \leq A_0 < 6$
3. Amplifikasi Tinggi : $6 \leq A_0 < 9$
4. Amplifikasi Sangat Tinggi : $A_0 \geq 9$

Berdasarkan klasifikasi dan nilai amplifikasi yang didapatkan maka dapat diperoleh peta persebaran nilai faktor amplifikasi di Kabupaten Pacitan seperti pada **Gambar 4.9** berikut.



Gambar 4. 9 Peta Nilai Amplifikasi (A_0)

Berdasarkan peta nilai faktor amplifikasi tanah di Kabupaten Pacitan, terdapat zona yang relatif memiliki amplifikasi tanah rendah hingga tinggi. Nilai A_0 lebih dari sama dengan 9 ($A_0 \geq 9$) daerah dengan nilai faktor amplifikasi tinggi berada warna merah. Sedangkan nilai A_0 kurang dari 3 ($A_0 < 3$) daerah dengan nilai faktor amplifikasi rendah berada warna ungu-biru. Kondisi geologi dengan rata-rata nilai A_0 yang tinggi berada di dataran rendah yang tersebar pada Kabupaten Pacitan. Nilai amplifikasi di suatu daerah sangat berkaitan dengan jenis sedimen dan batuan dibawahnya, maka daerah tersebut memiliki sedimen yang lunak. Nilai amplifikasinya tinggi sehingga daerah tersebut menjadi sangat rentan mengalami kerusakan apabila terjadi bencana gempa bumi.

Berdasarkan 3 kotak di atas disimpulkan bahwa daerah tersebut pada nilai amplifikasi memiliki nilai rendah di dominasi pada wilayah perbukitan, karena lapisan sedimen tersebut keras. Sedangkan nilai amplifikasi yang tinggi diperoleh

pada titik 18 dan titik 0, di dominasi pada wilayah perkotaan, karena lapisan sedimen tersebut lunak.

4.4 Analisis Nilai Faktor Frekuensi Dominan (F_0)

Frekuensi adalah jumlah getaran atau gelombang yang terjadi dalam satuan waktu tertentu. Frekuensi dominan tanah (F_0) merupakan frekuensi yang terjadi saat kurva HVSR mencapai nilai tertinggi atau puncak. Nilai frekuensi dominan dipengaruhi oleh ketebalan sedimen dan besarnya kecepatan gelombang geser tanah. Frekuensi dominan menggambarkan jenis tanah dan ketebalan lapisan sedimen dibawahnya, jika suatu daerah memiliki nilai frekuensi yang tinggi maka sedimen dibawahnya tipis dan sebaliknya jika nilai frekuensi yang rendah maka sedimen dibawahnya tebal. Nilai frekuensi dominan tanah diambil dari nilai kurva HVSR yang didapatkan dari hasil pengukuran mikrotremor.

Nilai frekuensi dominan (f_0) di Kabupaten Pacitan berkisaran 0,123871 sampai 20,4221 seperti yang di tunjukkan pada **Tabel 4.2** berikut.

Tabel 4. 2 Nilai Frekuensi Dominan (f_0) di Kabupaten Pacitan

Titik	Nilai (f_0) Hz	Titik	Nilai (f_0) Hz
T0	0.514854	TA9	0.424183
T21	0.503018	TA11	6.85765
T20	0.655131	TA13	0.123871
T13	0.552449	TA17	1.45257
T6	0.323756	TA19	2.11269
T9	0.565828	TA24	5.84046
T15	0.823077	TA3	1.17264
T14	0.541315	TA4	2.00259

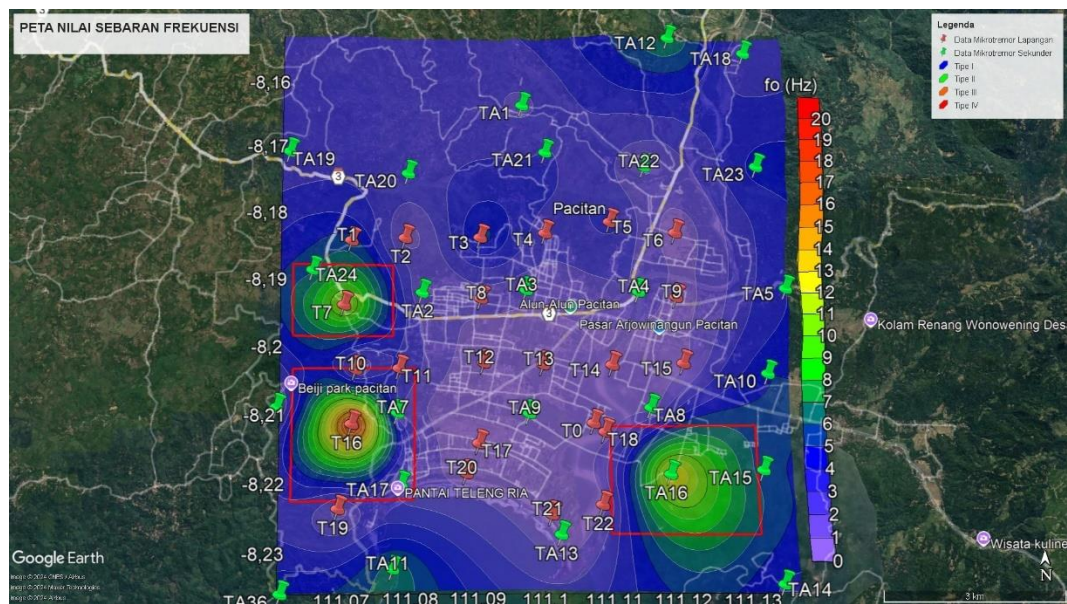
Titik	Nilai (f_0) Hz	Titik	Nilai (f_0) Hz
T22	0.599551	TA5	4.01558
T17	0.350648	TA8	0.525442
T12	0.590673	TA14	3.80632
T18	0.479963	TA15	5.24761
T1	5.37928	TA18	1.89824
T7	12.3787	TA22	0.850568
T2	0.336657	TA23	4.46924
T11	3.21132	TA10	4.97415
T10	0.263087	TA1	1.70555
T16	20.4221	TA2	0.897329
T19	0.350648	TA12	7.23466
T5	3.42703	TA16	13.7509
T4	2.26313	TA20	2.61702
T8	1.37365	TA21	3.0728
T3	5.56746	TA36	4.97415
TA6	0.424183	TA7	1.89824

Berdasarkan nilai frekuensi dominan (f_0) yang didapatkan dari hasil pengukuran mikrotremor di Kabupaten Pacitan, maka dapat ditentukan tipe zona berdasarkan nilai frekuensi dominan seperti berikut (Hanifah, 2023) :

1. Tipe I : $< 2,5$ Hz (Ketebalan permukaan sedimen sangat tebal, sekitar > 30 m)
2. Tipe II : $2,5 - 4$ Hz (Ketebalan permukaan sedimen masuk dalam kategori tebal, sekitar $10 - 30$ m)
3. Tipe III : $4 - 10$ Hz (Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori menengah, sekitar $5 - 10$ m)

4. Tipe IV : 6,667 – 20 (Ketebalan permukaan sedimen tipis didominasi batuan keras)

Berdasarkan klasifikasi tipe dan nilai frekuensi dominan yang didapatkan maka dapat diperoleh peta persebaran nilai frekuensi dominan di Kabupaten Pacitan seperti pada **Gambar 4.10** berikut.



Gambar 4. 10 Peta Nilai Frekuensi Dominan (f_0)

Berdasarkan peta nilai frekuensi dominan di Kabupaten Pacitan, terdapat zona relatif memiliki frekuensi dominan tipe I hingga tipe IV. Daerah dengan ketebalan permukaan sedimen sangat tebal atau tipe I berada warna ungu-biru dengan nilai f_0 kurang dari 5 Hz. Daerah dengan ketebalan permukaan sedimen tebal atau tipe II berada warna hijau tua – hijau muda dengan nilai f_0 berkisaran 6 hingga 11 Hz. Daerah dengan ketebalan permukaan sedimen menengah atau tipe III berada warna kuning – orange dengan nilai f_0 berkisar antara 11 hingga 16 Hz. Sedangkan daerah dengan ketebalan permukaan sedimen tipis didominasi batuan

keras atau tipe IV berada warna merah dengan nilai f_0 berkisaran 17 hingga 20 Hz.

Berdasarkan 3 kotak diatas dapat disimpulkan bahwa Nilai frekuensi dominan yang tinggi tersebar pada daerah dataran tinggi atau perbukitan dikarenakan karakteristik geologi dataran didominasi oleh batuan keras dengan ketebalan sedimen yang tipis.

4.5 Analisis Nilai Periode Dominan (T_0)

Periode dominan tanah (T_0) waktu yang dibutuhkan untuk gelombang mikrotremor merambat melewati lapisan endapan pada permukaan. Nilai periode dominan (T_0) dapat mengidentifikasi karakter lapisan tanah di suatu daerah, semakin kecil nilai periode dominan maka karakter tanah tersebut semakin keras dan sebaliknya jika nilai periode dominan besar maka karakter tanah tersebut semakin lunak. Nilai periode dominan penting dalam perhitungan nilai percepatan tanah, karena percepatan tanah maksimum dipengaruhi oleh karakteristik pada lapisan tanah permukaan.

Nilai periode dominan (T_0) di Kabupaten Pacitan berkisar 0,048966561 hingga 8,072914564 seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.3** berikut :

Tabel 4. 3 Nilai Periode Dominan (T_0) di Kabupaten Pacitan

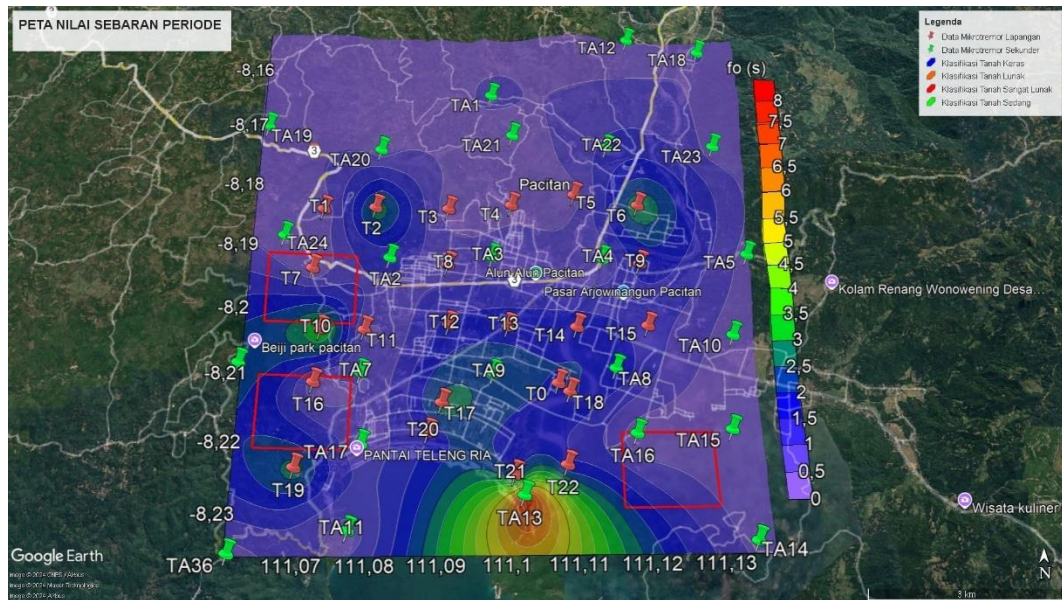
Titik	Nilai (T_0) s	Titik	Nilai (T_0) s
T0	1.9423	TA9	2.35747
T21	1.988	TA11	0.14582
T20	1.52641	TA13	8.07291
T13	1.81012	TA17	0.68843
T6	3.08875	TA19	0.47333

Titik	Nilai (T_0) s	Titik	Nilai (T_0) s
T9	1.76732	TA24	0.17122
T15	1.21495	TA3	0.85278
T14	1.84735	TA4	0.49935
T22	1.66791	TA5	0.24903
T17	2.85186	TA8	1.90316
T12	1.69298	TA14	0.26272
T18	2.08349	TA15	0.19056
T1	0.1859	TA18	0.5268
T7	0.08078	TA22	1.17568
T2	2.97038	TA23	0.22375
T11	0.3114	TA10	0.20104
T10	3.80102	TA1	0.58632
T16	0.04897	TA2	1.11442
T19	2.85186	TA12	0.13822
T5	0.2918	TA16	0.07272
T4	0.44187	TA20	0.38211
T8	0.72799	TA21	0.32544
T3	0.17962	TA36	0.20104
TA6	2.35747	TA7	0.5268

Berdasarkan nilai periode dominan T_0 yang didapatkan dari hasil pengukuran mikrotremor di Kabupaten Pacitan, maka dapat ditentukan jenis klasifikasi tanah berdasarkan nilai periode dominan seperti berikut (BMKG, 2016) :

1. Jenis I : $T_0 < 0,15$ s (Karakter tanah keras)
2. Jenis II : $0,15 < T_0 < 0,25$ s (Karakter tanah sedang)
3. Jenis III : $0,25 < T_0 < 0,4$ s (Karakter tanah lunak)
4. Jenis IV : $T_0 > 0,4$ s (Karakter tanah sangat lunak)

Berdasarkan klasifikasi jenis dan nilai periode dominan yang didapatkan maka dapat diperoleh peta sebaran nilai periode dominan di Kabupaten Pacitan seperti pada **Gambar 4.11** berikut.



Gambar 4. 11 Peta Nilai Periode Dominan (T_0)

Berdasarkan peta nilai periode dominan di Kabupaten Pacitan, terdapat daerah dengan zona relatif memiliki periode dominan tanah jenis I hingga jenis IV. Daerah dengan karakter tanah keras atau jenis I dengan nilai T_0 berada warna ungu-biru tua berkisar kurang dari 2 s. Daerah dengan karakter tanah sedang atau jenis II dengan nilai T_0 berada warna hijau tua-hijau muda berkisar 2,5 hingga 4,5 s. Daerah dengan karakter tanah lunak atau jenis III dengan nilai T_0 berada warna kuning-oranye berkisaran 5 hingga 6 s. Daerah dengan karakter tanah sangat lunak atau jenis IV dengan nilai T_0 berada warna merah berkisar 6,5 hingga 8 s. Nilai periode dominan yang tinggi mengindikasikan bahwa nilai T_0 tinggi berada pada dataran rendah yang tersebar di Kabupaten Pacitan. Besarnya nilai periode dominan dapat menunjukkan

tingkat risiko pada setiap titik pengukuran, dimana semakin besar nilai periode dominan maka semakin besar pula risiko yang dapat ditimbulkan oleh gempa bumi.

Berdasarkan 3 kotak di atas dapat disimpulkan bahwa nilai periode dominan memiliki nilai yang rendah pada wilayah perbukitan, karena wilayah tersebut memiliki tanah yang keras. Sedangkan titik A13 memiliki nilai yang tinggi karena pada wilayah tersebut memiliki tanah yang sangat lunak.

4.6 Analisis Nilai Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Indeks kerentanan seismik (Kg) merupakan suatu parameter yang menunjukkan tingkat kerawanan suatu wilayah terhadap ancaman resiko gempa bumi. Besar kecilnya nilai indeks kerentanan seismik dipengaruhi oleh nilai faktor amplifikasi tanah dan frekuensi dominan tanah. Nilai indeks kerentanan seismik akan tinggi jika daerah tersebut memiliki nilai faktor amplifikasi tanah (A_0) yang tinggi dan nilai frekuensi dominan (f_0) yang rendah. Sebaliknya, nilai indeks kerentanan seismik akan rendah jika daerah tersebut memiliki nilai faktor amplifikasi tanah (A_0) yang rendah dan nilai frekuensi dominan (f_0) yang tinggi. Daerah dengan nilai frekuensi dominan yang rendah dan nilai amplifikasi yang tinggi umumnya berada di daerah dengan dataran rendah.

Nilai Indeks Kerentanan Seismik (Kg) di Kabupaten Pacitan berkisaran 0,232984169 hingga 243,7348146 seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 4.4** berikut:

Tabel 4. 4 Nilai Indeks Kerentanan Seismik (Kg) di Kabupaten Pacitan

Titik	Nilai (Kg)	Titik	Nilai (Kg)
T0	195.565	TA9	73.1808
T21	110.369	TA11	2.73985
T20	37.6904	TA13	27.7162

Titik	Nilai (Kg)	Titik	Nilai (Kg)
T13	51.3914	TA17	21.8129
T6	119.262	TA19	11.3379
T9	97.7261	TA24	4.58978
T15	21.1586	TA3	38.4924
T14	102.376	TA4	17.2654
T22	60.5825	TA5	0.72873
T17	85.9965	TA8	143.742
T12	61.3039	TA14	3.82164
T18	243.735	TA15	0.56413
T1	2.70987	TA18	0.5268
T7	1.02476	TA22	1.88744
T2	8.00981	TA23	124.707
T11	19.7773	TA10	1.62847
T10	35.2275	TA1	1.76809
T16	0.5828	TA2	2.46685
T19	17.3732	TA12	3.18112
T5	4.0216	TA16	1.28579
T4	21.6399	TA20	0.23298
T8	16.1245	TA21	7.6883
T3	5.02044	TA36	5.72321
TA6	6.2105	TA7	2.12885

Berdasarkan data nilai indeks kerentanan seismik yang didapatkan maka diketahui klasifikasi berdasarkan nilai indeks kerentanan seismik, indeks kerentanan seismik rendah memiliki nilai $K_g < 10$, indeks kerentanan seismik sedang memiliki nilai $10 < K_g < 20$, dan indeks seismik dalam zona bahaya memiliki nilai $K_g > 20$. Diperoleh peta persebaran nilai indeks kerentanan seismik di Kabupaten Pacitan seperti pada **Gambar 4.12** berikut.

Berdasarkan peta persebaran nilai indeks kerentanan seismik di Kabupaten Pacitan, daerah dengan dataran rendah memiliki nilai K_g yang tinggi dibandingkan daerah dengan dataran tinggi. Daerah dengan nilai K_g tinggi berada pada warna Merah. Daerah yang memiliki geologi sedimen lunak akan memiliki nilai indeks kerentanan sesimik (K_g) yang tinggi, sehingga daerah tersebut lebih rentan mengalami kerusakan akibat bencana gempa bumi.

4.7 Analisis *Peak Ground Acceleration* (PGA)

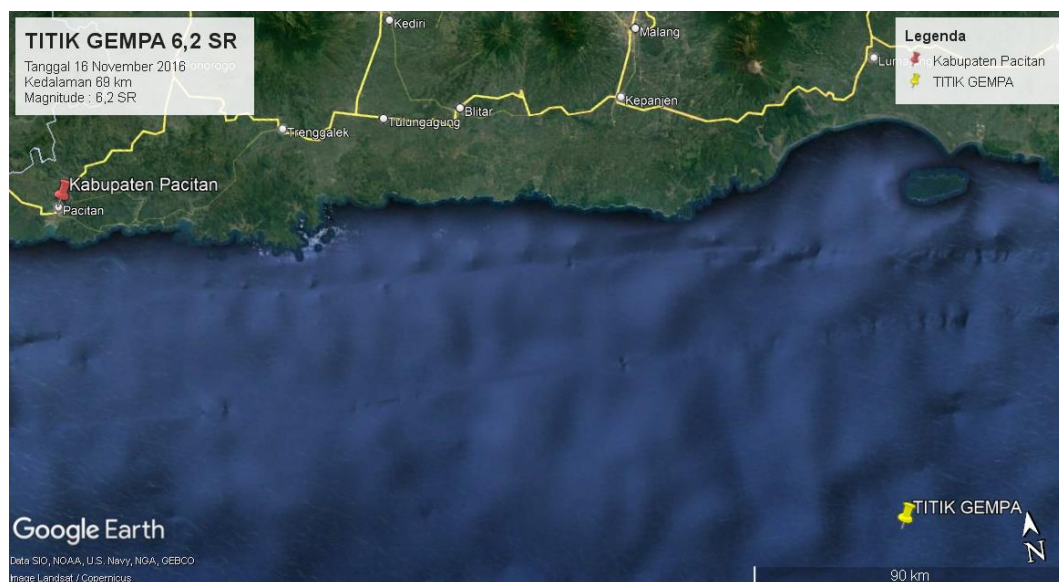
Analisis pada *peak ground acceleration* (PGA) permukaan penelitian ini menggunakan persamaan atenuasi Kanai (1966) untuk perhitungan data penelitian dan menggunakan referensi gempa yang terjadi di Pacitan, Jawa Timur seperti

ditunjukkan pada **Tabel 4.5** yang menunjukkan koordinat dari titik pusat gempa tersebut. *Peak Ground Acceleration* (PGA) merupakan salah satu parameter yang dapat memperkirakan kerusakan yang diakibatkan oleh bencana gempa bumi.

Tabel 4. 5 Data Gempa Pacitan 16 November 2016

Referensi Gempa	Latitude	Longitude	Skala (M)	Kedalaman (m)
Gempa Pacitan 16 November 2016	-9,32	113,12	6,2	69

Berdasarkan **Tabel 4.5** data gempa di Kabupaten Pacitan 16 November 2016 maka didapatkan peta titik gempa 6,2 SR **Gambar 4.13** berikut.



Gambar 4. 13 Titik Gempa 6,2 SR

Analisis nilai *peak ground acceleration* dapat dihitung setelah mendapatkan jarak hiposenter dan parameter – parameter lain yang sudah diperoleh dari perhitungan sebelumnya. Nilai *peak ground acceleration* (PGA) permukaan dapat diperoleh menggunakan persamaan atenuasi Kanai 1966. Berdasarkan rekapitulasi

nilai PGA permukaan (gal) pada **Tabel 4.6**, PGA (g) pada **Tabel 4.7**, dan PGA (MMI) pada **Tabel 4.8**.

Tabel 4. 6 Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) gal di Kabupaten Pacitan

Titik	Nilai PGA (gal)	Titik	Nilai PGA (gal)
T0	84.65629759	TA9	76.29096474
T21	83.60887121	TA11	324.752395
T20	96.25826235	TA13	38.48821568
T13	87.90627728	TA17	146.2461148
T6	65.8973257	TA19	177.6004686
T9	89.03592552	TA24	299.2406006
T15	108.6133021	TA3	130.7954674
T14	86.95558883	TA4	172.7538655
T22	91.82630034	TA5	247.1073967
T17	68.82262354	TA8	85.58328071
T12	91.0992528	TA14	240.4259552
T18	81.53200095	TA15	283.3366791
T1	286.9430182	TA18	168.0348131
T7	438.3636358	TA22	110.5104798
T2	67.31500557	TA23	261.0197902
T11	220.3502404	TA10	275.6977983
T10	58.8159593	TA1	158.967564
T16	564.7457821	TA2	113.6694898
T19	68.82274998	TA12	333.7201917
T5	227.8272009	TA16	462.3440034
T4	184.0238114	TA20	198.3384171
T8	142.0531777	TA21	215.4150008
T3	292.0222163	TA36	275.6982575

Titik	Nilai PGA (gal)	Titik	Nilai PGA (gal)
TA6	76.29089565	TA7	168.0356774

Tabel 4. 7 Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) g di Kabupaten Pacitan

Titik	Nilai PGA (g)	Titik	Nilai PGA (g)
T0	0.086324	TA9	0.0777939
T21	0.085256	TA11	0.33115
T20	0.0981546	TA13	0.0392464
T13	0.089638	TA17	0.1491272
T6	0.0671955	TA19	0.1810992
T9	0.0907899	TA24	0.3051356
T15	0.110753	TA3	0.1333721
T14	0.0886686	TA4	0.1761571
T22	0.0936353	TA5	0.2519754
T17	0.0701784	TA8	0.0872693
T12	0.0928939	TA14	0.2451623
T18	0.0831382	TA15	0.2889184
T1	0.2925958	TA18	0.1713451
T7	0.4469994	TA22	0.1126875
T2	0.0686411	TA23	0.2661619
T11	0.2246911	TA10	0.281129
T10	0.0599746	TA1	0.1620992
T16	0.5758713	TA2	0.1159088
T19	0.0701786	TA12	0.3402945
T5	0.2323154	TA16	0.4714522
T4	0.1876491	TA20	0.2022457
T8	0.1448516	TA21	0.2196587

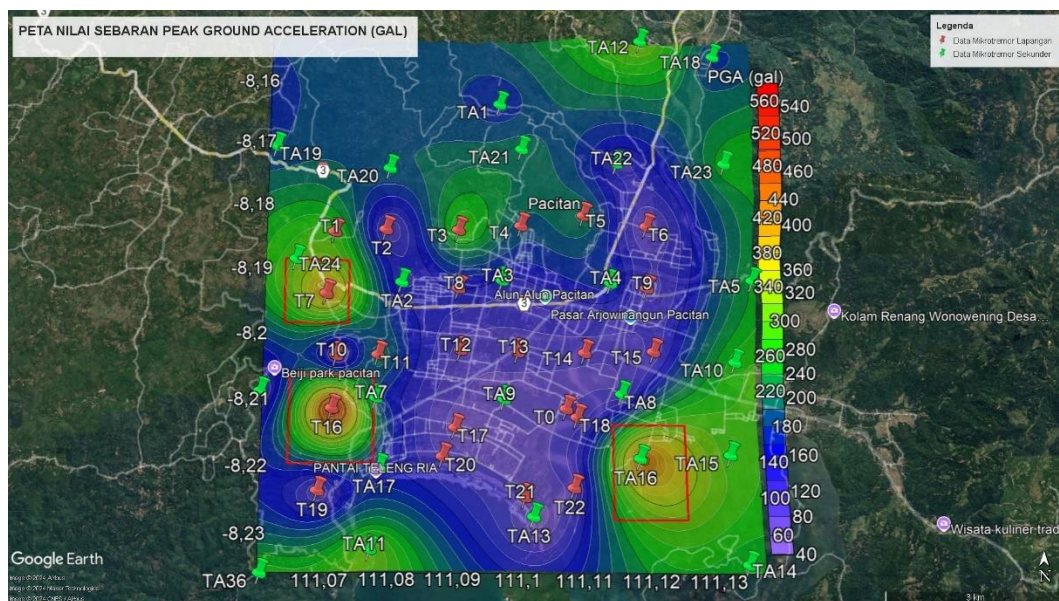
Titik	Nilai PGA (g)	Titik	Nilai PGA (g)
T3	0.2977751	TA36	0.2811295
TA6	0.0777938	TA7	0.171346

Tabel 4. 8 Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) MMI di Kabupaten Pacitan

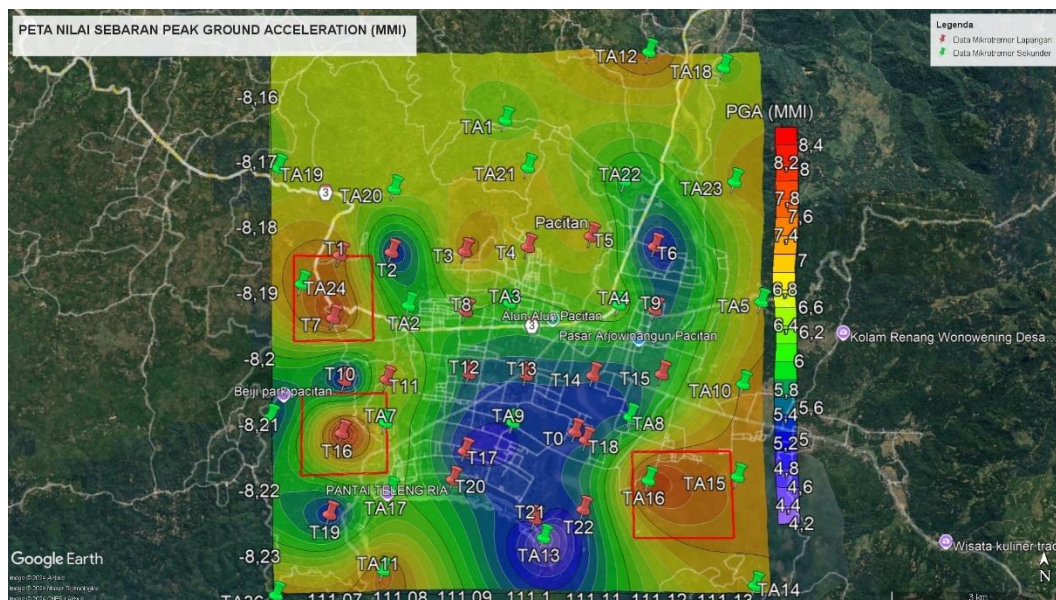
Titik	Nilai PGA (MMI)	Titik	Nilai PGA (MMI)
T0	5.39523293	TA9	5.22985157
T21	5.37544364	TA11	7.53228165
T20	5.59938314	TA13	4.14229967
T13	5.45511279	TA17	6.26420867
T6	4.99705611	TA19	6.57296543
T9	5.47540892	TA24	7.40223509
T15	5.79133184	TA3	6.08672926
T14	5.43782885	TA4	6.52898565
T22	5.52445954	TA5	7.09796183
T17	5.06609628	TA8	5.41254349
T12	5.51182422	TA14	7.05439174
T18	5.33546085	TA15	7.31542825
T1	7.33553212	TA18	6.48496132
T7	8.00911434	TA22	5.81885668
T2	5.0308895	TA23	7.18502478
T11	6.91579551	TA10	7.27198587
T10	4.81635238	TA1	6.39678918
T16	8.41178197	TA2	5.86365671
T19	5.0660992	TA12	7.57557989
T5	6.9688364	TA16	8.09377274
T4	6.62943892	TA20	6.74850905

Titik	Nilai PGA (MMI)	Titik	Nilai PGA (MMI)
T8	6.21797049	TA21	6.87978995
T3	7.36342217	TA36	7.27198852
TA6	5.22985013	TA7	6.48496949

Berdasarkan data *peak ground acceleration* (PGA) permukaan yang didapatkan maka dapat diperoleh peta persebaran nilai PGA permukaan (gal) pada **Gambar 4.14**, dan peta persebaran nilai PGA permukaan (MMI) pada **Gambar 4.15** berikut.



Gambar 4. 14 Peta Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) gal



Gambar 4. 15 Peta Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) MMI

Berdasarkan peta nilai *peak ground acceleration* (PGA) di Kabupaten Pacitan didapatkan hasil nilai PGA permukaan berkisar 38,48821568 hingga 564,7457821 gal atau 0,039246434 hingga 0,575871274 g. Berdasarkan **Tabel 2.1** wilayah dengan nilai PGA (gal) berkisar antara 168 - 564 memiliki tingkat kerusakan ringan sampai sedang, apabila bencana gempa bumi terjadi maka struktur bangunan pada wilayah tersebut dapat mengalami kerusakan ringan hingga sedang dan wilayah tersebut memiliki nilai skala MMI VII – VIII yang tersebar pada dataran rendah atau daerah perkotaan di wilayah Kabupaten Pacitan. Sedangkan pada dataran tinggi atau perbukitan di wilayah Kabupaten Pacitan yang memiliki nilai PGA (gal) lebih dari 564 dengan tingkat kerusakan berat pada struktur bangunan dan memiliki nilai skala MMI IX – XII.

Berdasarkan pembahasan diatas dapat diketahui bahwa pada suatu wilayah memiliki nilai PGA yang tinggi maka akan semakin tinggi juga kerusakan yang dapat terjadi di wilayah tersebut dan juga sebaliknya. Pergerakan tanah saat bencana

gempa bumi akan merambat lebih cepat dengan durasi waktu yang lebih singkat pada wilayah yang memiliki nilai PGA permukaan tinggi dibandingkan dengan nilai PGA permukaan yang rendah.

4.8 Pembahasan dan Hubungan Antara Nilai A_0 , F_0 , Kg dan PGA

Dari hasil analisis data dan pembahasan didapatkan bahwa pada parameter – parameter pada indeks kerentanan seismik memiliki hubungan seperti pada nilai A_0 , F_0 , Kg dan PGA. Wilayah dengan nilai A_0 tinggi memiliki potensi kerusakan lebih tinggi saat bencana gempa terjadi dikarenakan nilai A_0 dapat menandakan jenis lapisan sedimen yang lunak pada wilayah tersebut, sehingga daerah tersebut rentan mengalami kerusakan. Hal itu dibuktikan dengan persebaran nilai A_0 tinggi yang tersebar di Kabupaten Pacitan tersebut memiliki ketebalan sedimen yang sangat tinggi yakni lebih dari 30 m dan memiliki nilai F_0 yang rendah yaitu kurang dari 2,5 Hz. Hubungan antara nilai A_0 , F_0 , Kg dan PGA dapat dilihat pada **Tabel 4.9** berikut.

Tabel 4. 9 Nilai Hubungan A_0 , F_0 , Kg dan PGA

ID	A_0	F_0	Kg	PGA (GAL)	PGA (MMI)
T18	10.8159	0.47996	243.735	81,532	5,335
T16	3.44992	20.4221	0.5828	564,746	8,411

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pada titik 18, nilai A_0 yang tinggi dan F_0 yang rendah pada suatu wilayah akan memiliki nilai kerentanan seismik atau Kg yang tinggi. Wilayah dengan nilai Kg yang tinggi mempunyai karakteristik lapisan sedimen yang lunak dan tebal, pada umumnya wilayah tersebut berada di dataran rendah atau daerah perkotaan. Pada PGA (gal) akan memiliki nilai yang rendah, wilayah tersebut berada di daerah perkotaan atau dataran rendah.

Sedangkan pada titik 16, nilai A_0 yang rendah dan nilai F_0 yang tinggi pada suatu wilayah akan memiliki nilai kerentanan seismik atau K_g yang rendah. Wilayah dengan K_g yang rendah mempunyai karakteristik lapisan sedimen yang keras, pada umumnya wilayah tersebut berada di dataran tinggi atau perbukitan. Pada PGA (gal) akan memiliki nilai yang tinggi, wilayah tersebut berada di dataran tinggi atau perbukitan.

Peak Ground Acceleration dihitung menggunakan **persamaan 2.8** sampai **persamaan 2.12** yang dikembangkan oleh Kanai untuk menghitung percepatan dan menggunakan referensi gempa di Kabupaten Pacitan untuk mengetahui seberapa besar kerentanan gempa pada tanggal 16 November 2016. Pada percepatan Kanai itu menggunakan salah satu dari parameter hasil perhitungan Metode HVSR yaitu nilai periode dominan. Kerentanan akibat parameter gempa nanti nilai PGA dikonversi dari satuan gal ke satuan intensitas gempa atau satuan MMI. Sehingga menghasilkan nilai PGA yang tinggi pada daerah perbukitan, sehingga wilayah pada dataran rendah atau perkotaan di Kabupaten Pacitan termasuk kedalam skala SIG BMKG IV dan berpotensi mengalami kerusakan ringan hingga sedang. Sedangkan wilayah pada dataran tinggi atau perbukitan di Kabupaten Pacitan termasuk kedalam skala SIG BMKG V berpotensi mengalami kerusakan berat.

Jadi nilai kerentanan seismik dibandingkan dengan nilai PGA itu akan berbanding terbalik. Indeks Kerentanan Seismik menunjukkan rentan pada daerah dominan endapan. Daerah perkotaan yang dominan endapan tebal daerah yang alluviumnya kerentanan tinggi. Sedangkan pada nilai PGA yang tinggi di kawasan perbukitan, hal ini daerah perbukitan dominan batuan keras, daerah perbukitan itu dominan kerentanannya rendah.

4.9 Hasil Penelitian dalam Perspektif Al-Qur'an

Gempa bumi adalah guncangan atau getaran yang dihasilkan oleh aktivitas tektonik. Gempa bumi terjadi karena pelepasan energi yang dihasilkan oleh tekanan yang disebabkan oleh lempeng yang bergerak. Umat Islam harus meyakini bahwa setiap kejadian di dunia ini termasuk gempa bumi terjadi atas izin Allah SWT yang difirmankan dalam Surah Al-Zalzalah ayat 1:

إِذَا زُلْزِلَتِ الْأَرْضُ زِلْزَالَهَا

Artinya : "Apabila bumi diguncangkan dengan guncangan yang dahsyat." (Q.S Al-Zalzalah : 1).

Gempa bumi sebagai bencana alam yang dikehendaki oleh Allah SWT dapat diprediksi kapan terjadinya melalui identifikasi karakteristik dinamika tanah. Pada penelitian ini, dilakukan identifikasi karakteristik tanah di Kabupaten Pacitan dengan harapan dapat menjadi referensi serta landasan dari informasi mitigasi bencana dan juga rencana pembangunan menggunakan metode HVSR. Metode ini merupakan teknik modern dalam analisis seismik yang berkembang seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi hasil dari pemikiran manusia. Hal tersebut berkaitan dengan manusia sebagai makhluk berakal seperti pada surah An-Naml ayat 88:

وَتَرَى الْجِبَالَ تَحْسَبُهَا جَامِدَةً وَهِيَ تَمُرُّ مَرَّ السَّحَابِ ۚ صُنْعَ اللَّهِ الَّذِي أَتَقَنَ

كُلَّ شَيْءٍ ۚ إِنَّهُ خَبِيرٌ بِمَا تَفْعَلُونَ

Artinya : “Dan kamu lihat gunung-gunung itu, kamu sangka dia tetap di tempatnya, padahal ia berjalan sebagai jalannya awan. (Begitulah) perbuatan Allah yang membuat dengan kokoh tiap-tiap sesuatu; sesungguhnya Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan.” (Q.S. An-Naml : 88)

Dalam tafsir ilmi Kemenag, Q.S. An-Naml : 88 menyatakan bahwa gunung-gunung yang sekarang kelihatannya kokoh berdiri di tempatnya, nanti pada hari Kiamat akan dicabut dari bumi kemudian diterbangkan bagaikan bulu di udara dan berjalannya awan. Ada dua pendapat ulama tafsir mengenai pernyataan ayat ini bahwa gunung-gunung akan diterbangkan di udara seperti jalannya awan, atau dalam ayat lain seperti bulu ditiup oleh angin. Pendapat pertama, yang merupakan pendapat sebagian besar mufasir, mengemukakan bahwa ayat ini berhubungan dengan peristiwa hari Kiamat. Pendapat yang kedua mengenai tafsir ayat 88 ini, yakni pendapat ulama ahli falak, menyatakan bahwa ayat ini bukan berhubungan dengan peristiwa hari Kiamat, tetapi dengan fenomena alam di dunia. Demikianlah kedua pendapat tentang tafsir ayat 88 ini. Sebagian besar mufasir menerangkan bahwa ayat itu berhubungan dengan peristiwa hari Kiamat. Sebagian lagi yang terdiri dari ulama falak menerangkan bahwa ayat itu berhubungan dengan peristiwa sekarang, dan dijadikan dalil bahwa semua yang ada di atas bumi termasuk gunung-gunung bergerak, berjalan di angkasa sebagaimana berjalannya awan. Perbedaan penafsiran itu tidak mengenai pada tataran arti, namun hanya menyangkut waktu terjadinya. Karena kejadian ini termasuk dalam alam gaib, maka lebih baik perhatian manusia dititikberatkan kepada perbaikan amalnya. Oleh karena itu, pada akhir ayat itu dinyatakan bahwa sesungguhnya Allah Maha Mengetahui apa yang dikerjakan manusia.

Dari dua konsep di atas, Apungan Benua dan Pemekaran Samudra, lahir konsep Tektonik Lempeng yang berkembang sangat cepat sejak tahun 1967 dan memiliki implikasi terhadap seluruh aspek geologi termasuk gempa bumi, gunung api, sampai pada perkembangan cekungan hidrokarbon maupun endapan-endapan mineral. Teori ini mengatakan bahwa bumi bagian atas terdiri dari lempengan-lempengan litosfer yang terdiri dari kerak bumi dan mantel bagian atas yang mengapung dan bergerak di atas bagian mantel yang disebut astenosfer. Lempeng-lempeng litosfer bergerak dan saling berinteraksi satu sama lain. Pada tempat-tempat saling bertemu, pertemuan lempengan ini menimbulkan gempa bumi. Sebagai contoh adalah Indonesia yang merupakan tempat pertemuan tiga lempeng: Eurasia, Pasifik, dan Indo-Australia. Bila dua lempeng bertemu, maka terjadi tekanan (beban) yang terus menerus, dan bila lempengan tidak tahan lagi menahan tekanan (beban), maka lepaslah beban yang telah terkumpul ratusan tahun itu, dan dikeluarkan dalam bentuk gempa bumi.

Allah SWT berfirman dalam Q.S. Ar-Rum ayat 41:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي
عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya : “Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).” (Q.S. Ar-Rum : 41)

Menurut Tafsir Ilmi Kemenag menjelaskan bahwa untuk tidak berbuat kerusakan di bumi, kerusakan tersebut pada gilirannya akan berbalik kepada keberadaan manusia sendiri. Banyak contoh bagaimana kerusakan yang diakibatkan oleh ulah manusia yang kemudian berbalik menjadi bencana (Al-Qur'an, 2018). Contohnya bencana gempa bumi yang menyebabkan banyaknya kerusakan bangunan dan korban jiwa, sehingga perlu adanya analisis kerentanan gempa yang dapat meminimalisir dampak-dampak dari gempa bumi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan diantaranya sebagai berikut :

1. Nilai amplifikasi (A_0) pada daerah penelitian berkisar antara 1,62308 sampai 10,8159 dengan sebagian besar daerah termasuk kedalam klasifikasi zona sedang dan sangat tinggi. Nilai frekuensi dominan (F_0) berkisar antara 0,123871 sampai 20,4221 Hz dengan sebagian besar daerah memiliki nilai frekuensi rendah dan sedang. Nilai periode dominan (T_0) berkisar antara 0,048966561 hingga 8,072914564 s dengan sebagian besar daerah termasuk kedalam klasifikasi tanah lunak hingga sangat lunak. Nilai indeks kerentanan seismik (K_g) berkisar 0,232984169 hingga 243,7348146 (s^2/cm) dengan wilayah yang memiliki nilai indeks kerentanan seismik yang sangat tinggi berada di bagian selatan Kabupaten Pacitan masuk kedalam kategori zona tinggi.
2. Berdasarkan data gempa tanggal 16 November 2024 *peak ground acceleration* (PGA) menggunakan perhitungan metode Kanai berkisar antara 38,48821568 hingga 564,7457821 gal atau 0,039246434 hingga 0,575871274 g atau 4,142299666 hingga 8,411781965 MMI, sehingga wilayah pada dataran rendah atau perkotaan di Kabupaten Pacitan termasuk kedalam skala SIG BMKG IV dan berpotensi mengalami kerusakan ringan hingga sedang. Sedangkan wilayah pada dataran tinggi atau perbukitan di

Kabupaten Pacitan termasuk kedalam skala SIG BMKG V berpotensi mengalami kerusakan berat.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa kekurangan yang perlu diperbaiki pada pengembangan penelitian yang akan dilakukan peneliti selanjutnya, diantaranya sebagai berikut :

1. Perlu dilakukannya penelitian untuk mencari data bor dan menggunakan metode lain untuk membandingkan dan menganalisis agar struktur bawah permukaan yang dihasilkan lebih akurat.
2. Perlu adanya perluasan area penelitian di kawasan pemukiman sehingga dapat mencakup beberapa seluruh area pemukiman yang berada di dekat jarak hiposenter gempabumi dan terutama pada area yang memiliki potensi gerakan tanah yang tinggi.
3. Perlu analisis metode penentuan PGA dengan atenuasi yang terbaru, sehingga dapat memperoleh nilai PGA dengan metode terbaru.

DAFTAR PUSTAKA

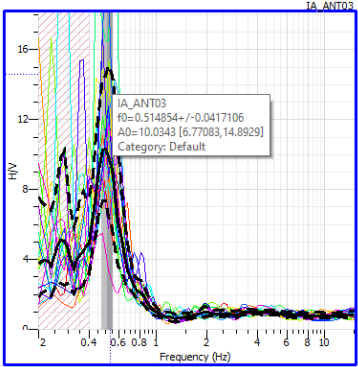
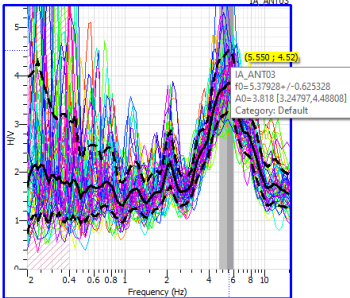
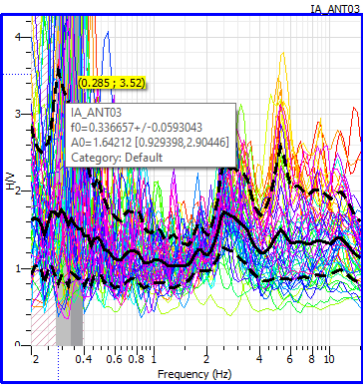
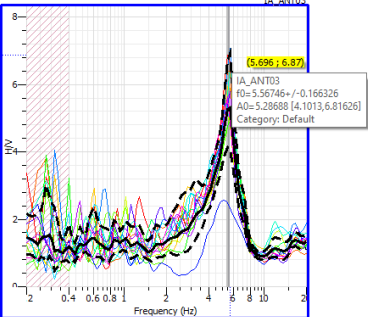
- Adib, A. P. (2014). Site Effect Classification Based on Microtremor Data Analysis Using a Concentration-Area Fractal Model. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 22, Corpenicus Publications on behalf of the European Geosciences Union and the American Geophysical Union., 53-63.
- Agustina, S. S. (2019). Analisis Nilai Peak Ground Acceleration dan Intensitas Gempa Menggunakan Metode HVSr Di UIN Walisongo Semarang.
- Aiman, M. K. (2023). EARTHQUAKE VULNERABILITY MAPPING IN PACITAN SUB-DISTRICT, PACITAN REGENCY USING MICROTREMOR MEASUREMENT WITH HVSr METHOD.
- Amaliyah, A. R. (2017). Studi Tingkat Resiko Bahaya Seismik berdasarkan Analisis Pengukuran Mikrotremor di Kecamatan Alla Kabupaten Enrekang. *Skripsi. Makassar: UIN Alauddin Makassar.*
- Arif, I. A. (2023). Identifikasi Litologi Berdasarkan Ground Profiles Kecepatan Gelombang (Vs) Pada Zona Longsor Di Desa Kalongan Kecamatan Ungaran Timur Kabupaten Semarang. *Skripsi. Yogyakarta: UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.*
- Aswad, S. d. (2018). Mikrotremor Study of Site Effect for Disaster Mitigation and Geotechnical Purpose. *IOP Publishing. (9 Februari 2021).*
- BMKG. (2016). Buletin Meteorologi dan Geofisika. Sumberdaya Geologi.
- BPBD, .. B. (2018). Pengertian Gempa Bumi, Jenis-Jenis, Penyebab, Akibat, dan.
- Hanifah, D. R. (2023). Penyusunan Peta Kerentanan Gempa Di Berbah Kabupaten Sleman Menggunakan Metode Horizontal To Vertical SpectralRatio (HVSr) Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor Di Lapangan. *Yogyakarta: Skripsi, Universitas Islam Indonesia.*
- Indrianti, Y. S. (2013). Pemodelan Konfigurasi Batuan Dasar dan Struktur Geologi Bawah Permukaan Menggunakan Data Anomali Gravitasi di Daerah Pacitan-Arjosari-Tegalombo, Jawa Timur. *Jurusan Fisika. Universitas Brawijaya.*
- Khalqillah, A. d. (2016). SVIM: A Program for Seismic Vulnerability Index Determination and HVSr Data Processing. *IOP Publishing.*
- Kumala, S. d. (2016). Analisis Nilai PGA (Peak Ground Acceleration) Untuk Seluruh Wilayah Kabupaten dan Kota di Jawa Timur. *INERSIA 1 (XII). Universitas Gadjah Mada, 37-43.*

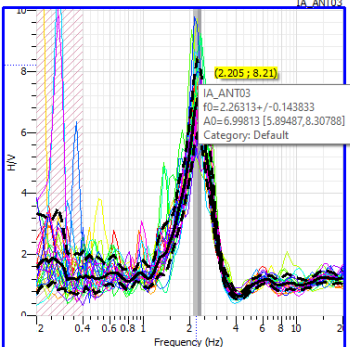
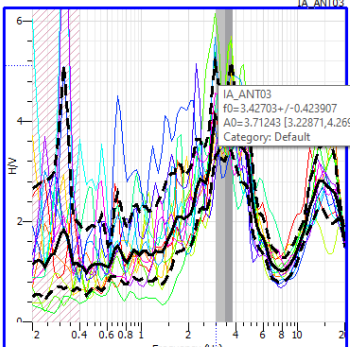
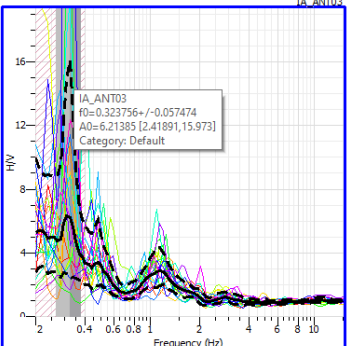
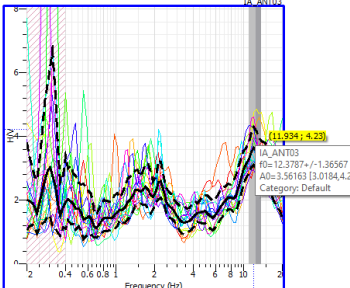
- Laksana, N. L. (2021). Analisis Tingkat Resiko Bahaya Seismik Berdasarkan Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) Menggunakan Data ,Mikrotremor di Wilayah Perkantoran Konawe Utara. *Skripsi, UIN Alauddin Makassar*.
- Magma. (2021, Maret). *Parameter Gempa Bumi. Kementrian ESDM*. Diambil kembali dari <https://magma.esdm.go.id/v1/edukasi/glossary/parameter-gempa-bumi>
- Nakamura, Y. (1989). A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface. *Quarterly Report of Railway Technical Research Inst. (RTRI)* 30., 25-33.
- Nakamura, Y. (2000). Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Application. *The 12nd Word Conference on Earthquake Engineering. Tokyo, Japan*.
- Patimah, S. (2017). Analisis Litologi Bawah Permukaan Berdasarkan Ground Profiles Kecepatan Gelombang Geser dengan Metode Ellipticity Curve di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten. *Skripsi. FMIPA. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta*.
- Putri, A. P. (2017). identifikasi Percepatan Tanah Maksimum (PGA) dan Kerentanan Tanah Menggunakan Metode Mikrotremor I Jalur Sesar Kendeng. *Jurnal Nasional*, 108.
- SESAME. (2004). Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio technique on Ambient Vibrations. *Europe : SESAME European Research Project*.
- Sitorus et al, N. P. (2017). Analisis Nilai Frekuensi Natural dan Amplifikasi Desa Olak Alen Blitar Menggunakan Metode Mikrotremor HVSR. *Jurnal Geosaintek*, 91.
- Sudrajat, A. (2016). Analisis Litologi Lapisan Sedimen berdasarkan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) dan Data Bor di Kawasan Jalur Sesar Opal. *(Tugas Akhir), Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta*.
- Telford, e. a. (2023). *Applied Geophysics*.
- USGS. (2023, 28). *Earthquake Hazard Program. U. S. Geological Survey*. Diambil kembali dari <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/?extent=-26.43123,83.49609&extent=23.80545,175.42969>
- Wekke, I. (2021). Mitigasi Bencana. *Adanu Abimata*.

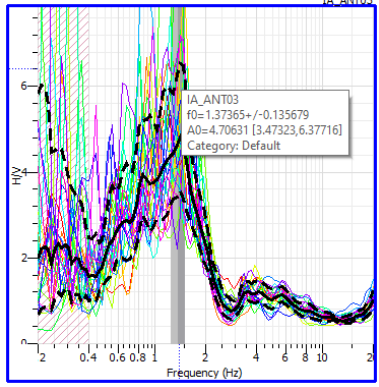
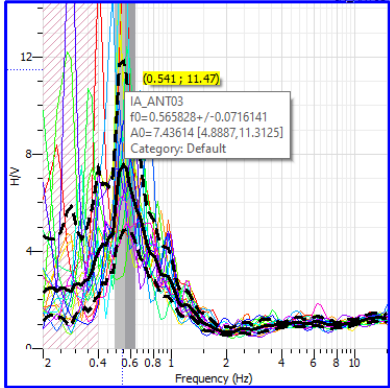
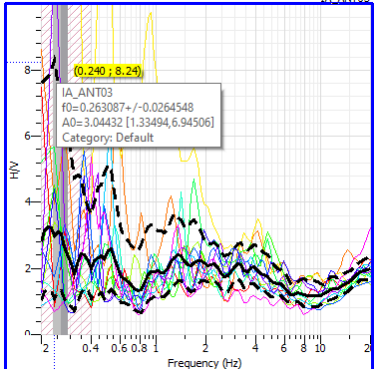
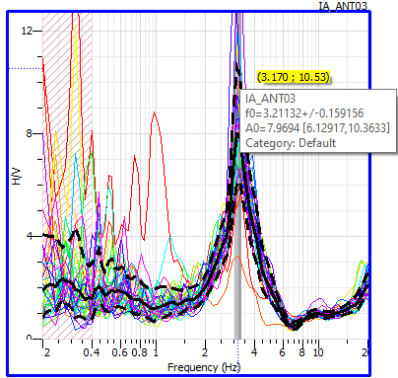
- Wibowo, N. S. (2018). Interpretasi Lapisan Sedimen Berdasarkan Ground Profile Vs dengan Pengukuran Mikrotremor di Kecamatan Pacitan. *Indonesian Journal of Applied Physics* 8(1).
- Zuliyanti, R. (2018). Analisis Parameter Mikrotremor Di Kawasan Jalur Sesar Grindulu Pacitan. *Skripsi, Universitas Negeri Yogyakarta : Yogyakarta*.

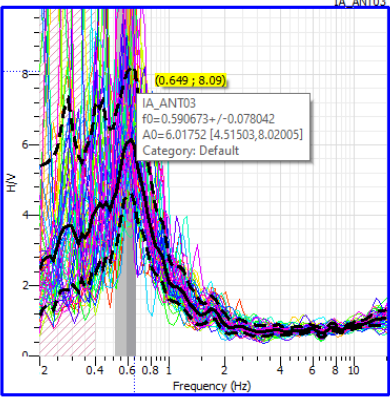
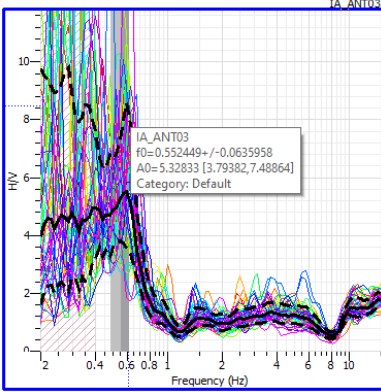
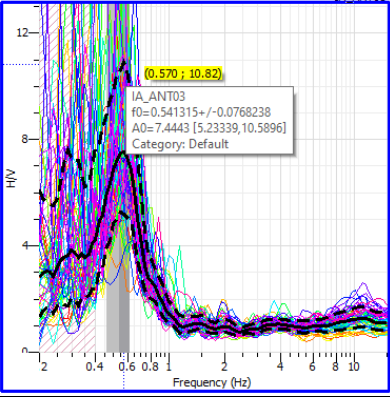
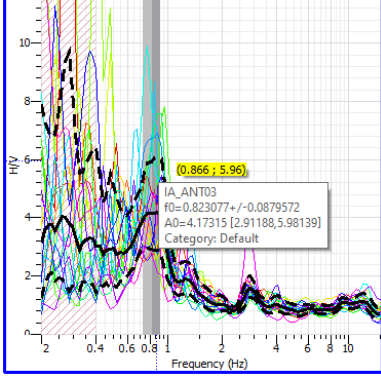
LAMPIRAN

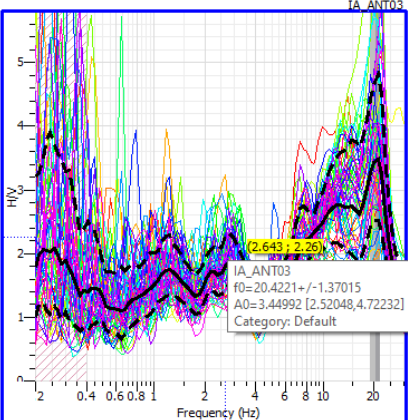
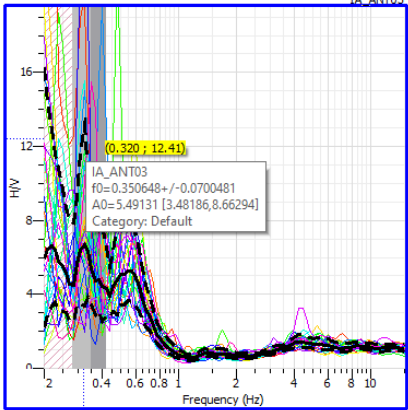
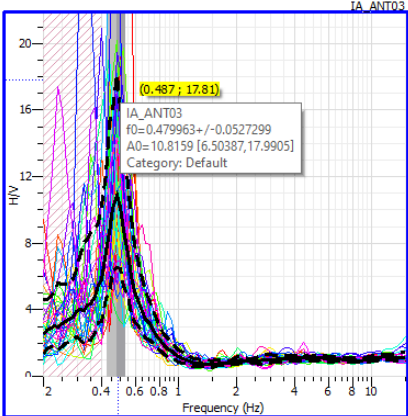
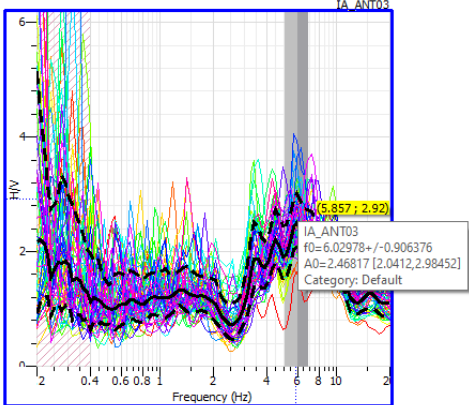
Lampiran 1. Kurva H/V

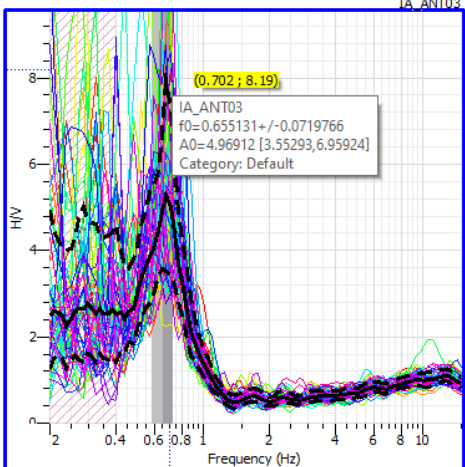
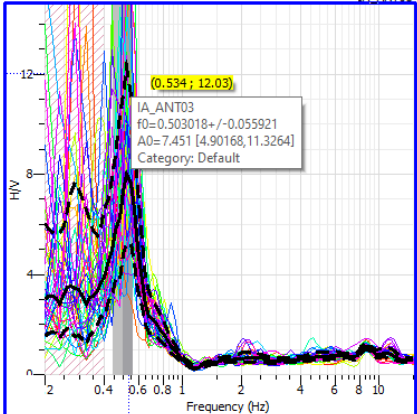
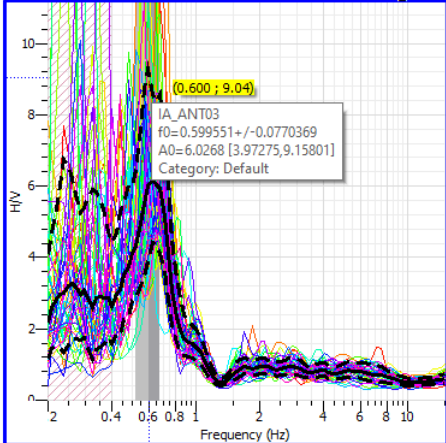
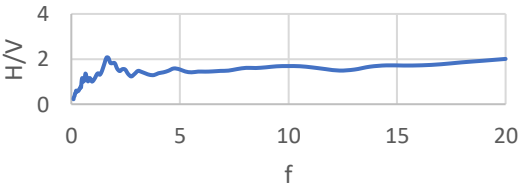
Titik	Kurva H/V	Nilai f_0 dan A_0
T0		$f_0 = 0,514854 \text{ Hz}$ $A_0 = 10,0343$
T1		$f_0 = 5,37928 \text{ Hz}$ $A_0 = 3,818$
T2		$f_0 = 0,336657 \text{ Hz}$ $A_0 = 1,64212$
T3		$f_0 = 5,56746 \text{ Hz}$ $A_0 = 5,28688$

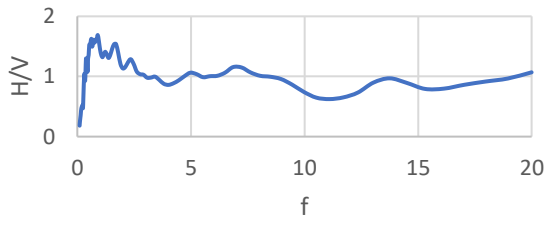
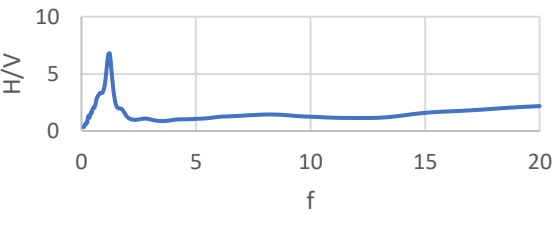
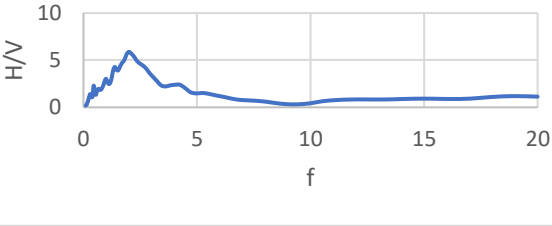
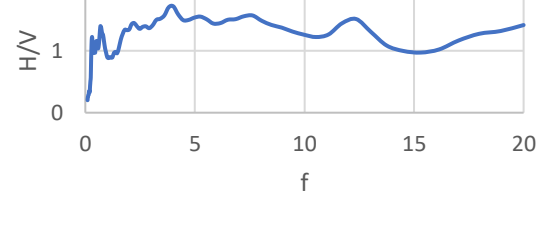
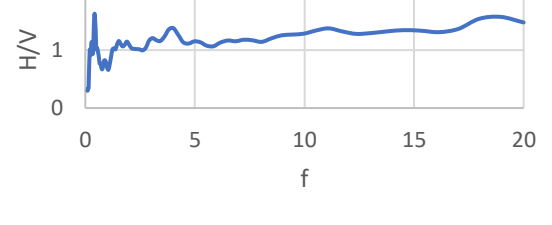
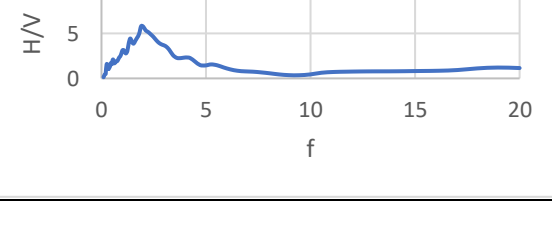
Titik	Kurva H/V	Nilai f_0 dan A_0
T4	 IA_ANT03 $f_0 = 2.26513 \pm 0.143833$ $A_0 = 6.99813 [5.89487, 8.30788]$ Category: Default	$f_0 = 2,26313 \text{ Hz}$ $A_0 = 6,99813$
T5	 IA_ANT03 $f_0 = 3.42703 \pm 0.423907$ $A_0 = 3.71243 [3.22871, 4.26902]$ Category: Default	$f_0 = 3,42703 \text{ Hz}$ $A_0 = 3,71243$
T6	 IA_ANT03 $f_0 = 0.323756 \pm 0.057474$ $A_0 = 6.21385 [2.41891, 15.973]$ Category: Default	$f_0 = 0,323756 \text{ Hz}$ $A_0 = 6,21385$
T7	 IA_ANT03 $f_0 = 12.3787 \pm 1.36367$ $A_0 = 3.56163 [3.0184, 4.20263]$ Category: Default	$f_0 = 12,3787 \text{ Hz}$ $A_0 = 3,56163$

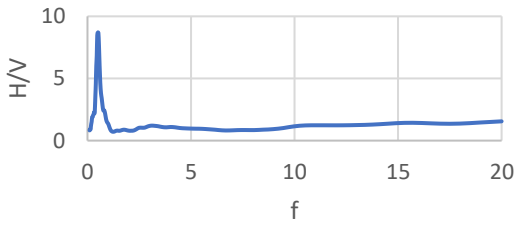
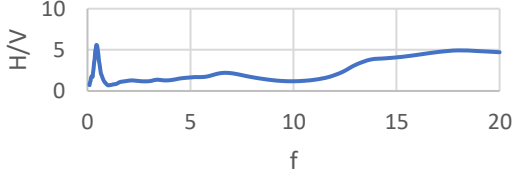
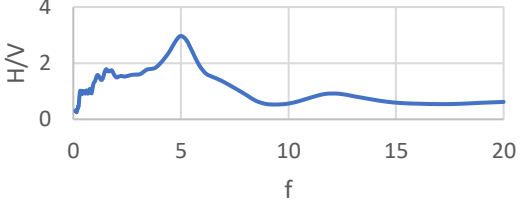
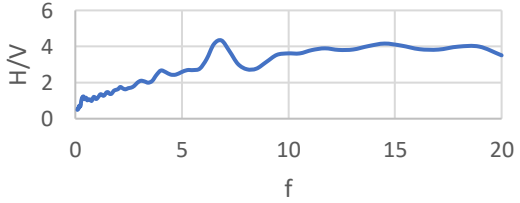
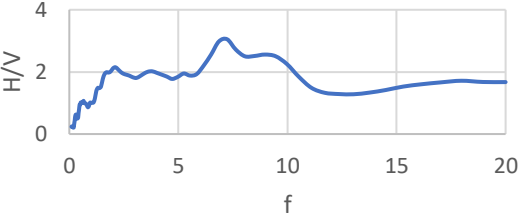
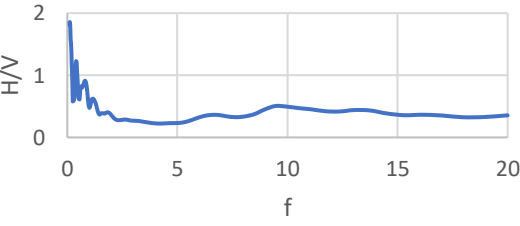
Titik	Kurva H/V	Nilai f_0 dan A_0
T8		$f_0 = 1,37365 \text{ Hz}$ $A_0 = 4,70631$
T9		$f_0 = 0,565828 \text{ Hz}$ $A_0 = 4,17315$
T10		$f_0 = 0,263087 \text{ Hz}$ $A_0 = 3,04432$
T11		$f_0 = 3,21132 \text{ Hz}$ $A_0 = 7,9694$

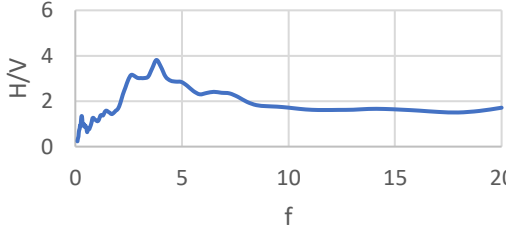
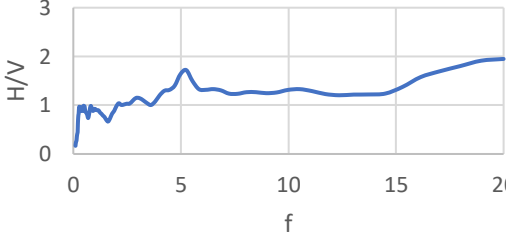
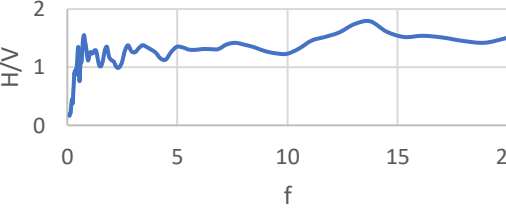
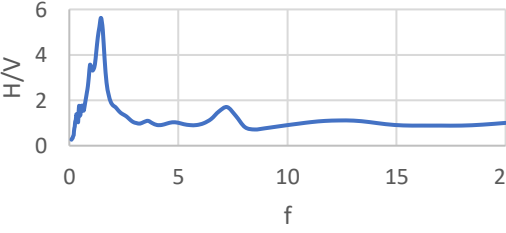
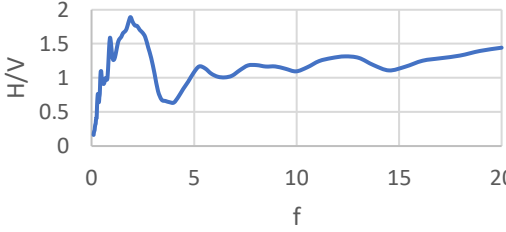
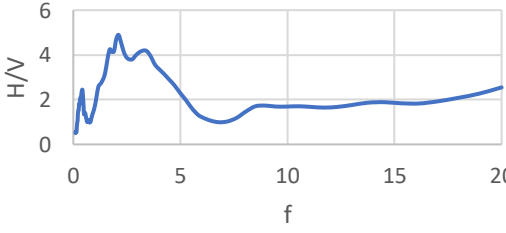
Titik	Kurva H/V	Nilai f_0 dan A_0
T12		$f_0 = 0,590673 \text{ Hz}$ $A_0 = 6,01752$
T13		$f_0 = 0,552449 \text{ Hz}$ $A_0 = 5,32833$
T14		$f_0 = 0,541315 \text{ Hz}$ $A_0 = 7,4443$
T15		$f_0 = 0,823077 \text{ Hz}$ $A_0 = 4,17315$

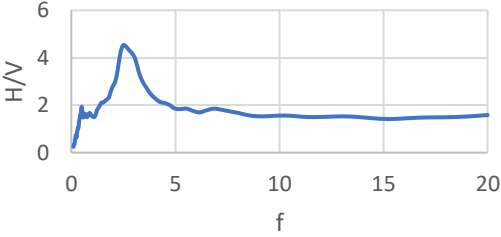
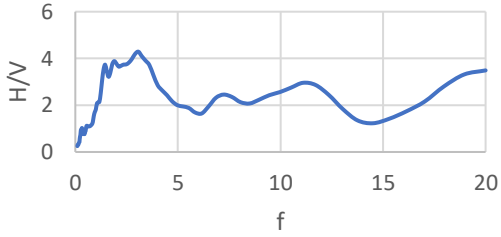
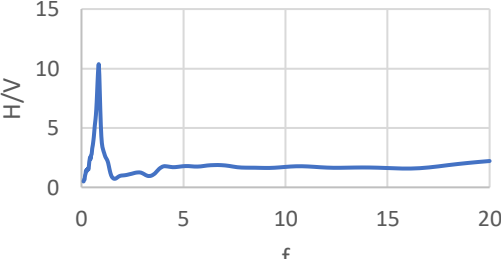
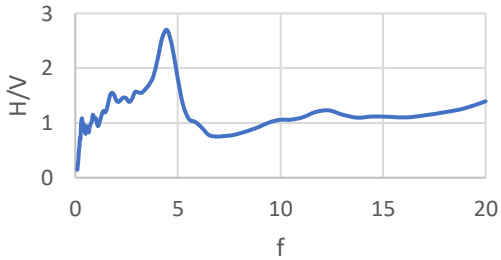
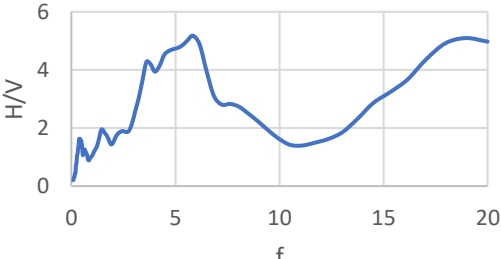
Titik	Kurva H/V	Nilai f_0 dan A_0
T16		$f_0 = 20,4221 \text{ Hz}$ $A_0 = 3,44992$
T17		$f_0 = 0,350648 \text{ Hz}$ $A_0 = 5,49131$
T18		$f_0 = 0,479963 \text{ Hz}$ $A_0 = 10,8159$
T19		$f_0 = 0,350648 \text{ Hz}$ $A_0 = 2,46817$

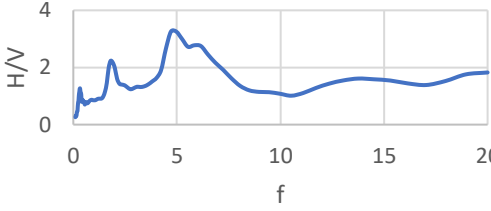
Titik	Kurva H/V	Nilai f_0 dan A_0
T20		$f_0 = 0,655131 \text{ Hz}$ $A_0 = 4,96912$
T21		$f_0 = 0,503018 \text{ Hz}$ $A_0 = 7,451$
T22		$f_0 = 0,599551 \text{ Hz}$ $A_0 = 6,0268$
TA1		$f_0 = 1,70555 \text{ Hz}$ $A_0 = 2,05118$

Titik	Kurva H/V	Nilai f_0 dan A_0
TA2		$f_0 = 0,897329 \text{ Hz}$ $A_0 = 1,68953$
TA3		$f_0 = 1,17264 \text{ Hz}$ $A_0 = 6,71846$
TA4		$f_0 = 2,00259 \text{ Hz}$ $A_0 = 5,88009$
TA5		$f_0 = 4,01558 \text{ Hz}$ $A_0 = 1,71064$
TA6		$f_0 = 0,424183 \text{ Hz}$ $A_0 = 1,62308$
TA7		$f_0 = 1,89824 \text{ Hz}$ $A_0 = 5,79018$

Titik	Kurva H/V	Nilai f_0 dan A_0
TA8		$f_0 = 0,525442 \text{ Hz}$ $A_0 = 8,69069$
TA9		$f_0 = 0,424183 \text{ Hz}$ $A_0 = 5,57154$
TA10		$f_0 = 4,97415 \text{ Hz}$ $A_0 = 2,96559$
TA11		$f_0 = 6,85765 \text{ Hz}$ $A_0 = 4,33462$
TA12		$f_0 = 7,23466 \text{ Hz}$ $A_0 = 3,04996$
TA13		$f_0 = 0,123871 \text{ Hz}$ $A_0 = 1,8529$

Titik	Kurva H/V	Nilai f_0 dan A_0
TA14		$f_0 = 3,80632 \text{ Hz}$ $A_0 = 3,81397$
TA15		$f_0 = 5,24761 \text{ Hz}$ $A_0 = 1,72056$
TA16		$f_0 = 13,7509 \text{ Hz}$ $A_0 = 1,7899$
TA17		$f_0 = 1,45257 \text{ Hz}$ $A_0 = 5,62892$
TA18		$f_0 = 1,89824 \text{ Hz}$ $A_0 = 1,89283$
TA19		$f_0 = 2,11269 \text{ Hz}$ $A_0 = 4,89422$

Titik	Kurva H/V	Nilai f_0 dan A_0
TA20		$f_0 = 2,61702 \text{ Hz}$ $A_0 = 4,48558$
TA21		$f_0 = 3,0728 \text{ Hz}$ $A_0 = 4,1936$
TA22		$f_0 = 0,850568 \text{ Hz}$ $A_0 = 10,2991$
TA23		$f_0 = 4,46924 \text{ Hz}$ $A_0 = 2,69778$
TA24		$f_0 = 5,84046 \text{ Hz}$ $A_0 = 5,17749$

Titik	Kurva H/V	Nilai f_0 dan A_0
TA25		$f_0 = 4,97415 \text{ Hz}$ $A_0 = 3,25411$

Lampiran 2. Tabel Hasil Pengolahan Data

A. Data Hasil Pengolahan Kurva *H/V* Menggunakan Metode HVSR

NO	ID	LAT	LONG	ELEVASI	F0	T0	A0	Kg
1	T0	-8.211944	111.107777	6.51	0.514854	1.9423	10.0343	195.565
2	T21	-8.225277	111.101388	4.8	0.503018	1.988	7.451	110.369
3	T20	-8.219166	111.088611	5.31	0.655131	1.52641	4.96912	37.6904
4	T13	-8.20317	111.100232	8	0.552449	1.81012	5.32833	51.3914
5	T6	-8.183372	111.120587	14.13	0.323756	3.08875	6.21385	119.262
6	T9	-8.193183	111.120555	14.54	0.565828	1.76732	7.43614	97.7261
7	T15	-8.203182	111.121448	5.31	0.823077	1.21495	4.17315	21.1586
8	T14	-8.203337	111.110668	12.23	0.541315	1.84735	7.4443	102.376
9	T22	-8.223917	111.108973	3.9	0.599551	1.66791	6.0268	60.5825
10	T17	-8.214783	111.09051	4.38	0.350648	2.85186	5.49131	85.9965
11	T12	-8.202853	111.09124	6.46	0.590673	1.69298	6.01752	61.3039
12	T18	-8.213255	111.109463	13.28	0.479963	2.08349	10.8159	243.735
13	T1	-8.18445	111.071403	198.76	5.37928	0.1859	3.818	2.70987
14	T7	-8.194103	111.07025	159.45	12.3787	0.08078	3.56163	1.02476
15	T2	-8.184055	111.079425	148.75	0.336657	2.97038	1.64212	8.00981
16	T11	-8.203597	111.078467	12.72	3.21132	0.3114	7.9694	19.7773
17	T10	-8.203715	111.072008	118.61	0.263087	3.80102	3.04432	35.2275
18	T16	-8.211798	111.071465	94.92	20.4221	0.04897	3.44992	0.5828
19	T19	-8.22421	111.069491	68.51	0.350648	2.85186	2.46817	17.3732
20	T5	-8.181747	111.11054	69.79	3.42703	0.2918	3.71243	4.0216
21	T4	-8.18331	111.100648	21	2.26313	0.44187	6.99813	21.6399
22	T8	-8.193172	111.09083	15.01	1.37365	0.72799	4.70631	16.1245

NO	ID	LAT	LONG	ELEVASI	F0	T0	A0	Kg
23	T3	-8.183913	111.090747	24.08	5.56746	0.17962	5.28688	5.02044
24	TA6	-8.20923	111.06072	798.6	0.424183	2.35747	1.62308	6.2105
25	TA7	-8.21021	111.07824	228.4	1.89824	0.5268	5.79018	17.6617
26	TA9	-8.21043	111.09808	518.4	0.424183	2.35747	5.57154	73.1808
27	TA11	-8.23296	111.07765	729.9	6.85765	0.14582	4.33462	2.73985
28	TA13	-8.22819	111.10272	280.2	0.123871	8.07291	1.8529	27.7162
29	TA17	-8.22076	111.07883	400.9	1.45257	0.68843	5.62892	21.8129
30	TA19	-8.1712	111.0623	397.7	2.11269	0.47333	4.89422	11.3379
31	TA24	-8.18886	111.06562	397.7	5.84046	0.17122	5.17749	4.58978
32	TA3	-8.19196	111.09771	328.4	1.17264	0.85278	6.71846	38.4924
33	TA4	-8.19235	111.11484	263.8	2.00259	0.49935	5.88009	17.2654
34	TA5	-8.19211	111.13707	397.7	4.01558	0.24903	1.71064	0.72873
35	TA8	-8.20972	111.1164	244.5	0.525442	1.90316	8.69069	143.742
36	TA14	-8.23491	111.13484	532.9	3.80632	0.26272	3.81397	3.82164
37	TA15	-8.21901	111.133	244.5	5.24761	0.19056	1.72056	0.56413
38	TA18	-8.15561	111.13166	397.8	1.89824	0.5268	1.89283	1.88744
39	TA22	-8.17315	111.11593	349.5	0.850568	1.17568	10.2991	124.707
40	TA23	-8.17358	111.13297	395.6	4.46924	0.22375	2.69778	1.62847
41	TA10	-8.20481	111.13412	530.2	4.97415	0.20104	2.96559	1.76809
42	TA1	-8.16362	111.09722	393.8	1.70555	0.58632	2.05118	2.46685
43	TA2	-8.19223	111.08190	401.6	0.897329	1.11442	1.68953	3.18112
44	TA12	-8.15322	111.11989	401.6	7.23466	0.13822	3.04996	1.28579
45	TA16	-8.2195	111.11914	401.7	13.7509	0.07272	1.7899	0.23298
46	TA20	-8.17434	111.07991	349.5	2.61702	0.38211	4.48558	7.6883
47	TA21	-8.17096	111.10072	393.8	3.0728	0.32544	4.1936	5.72321

NO	ID	LAT	LONG	ELEVASI	F0	T0	A0	Kg
48	TA36	-8.23617	111.06144	395.9	4.97415	0.20104	3.25411	2.12885

B. Data Hasil Pengolahan Nilai *Peak Ground Acceleration* Menggunakan Perhitungan Metode Kanai

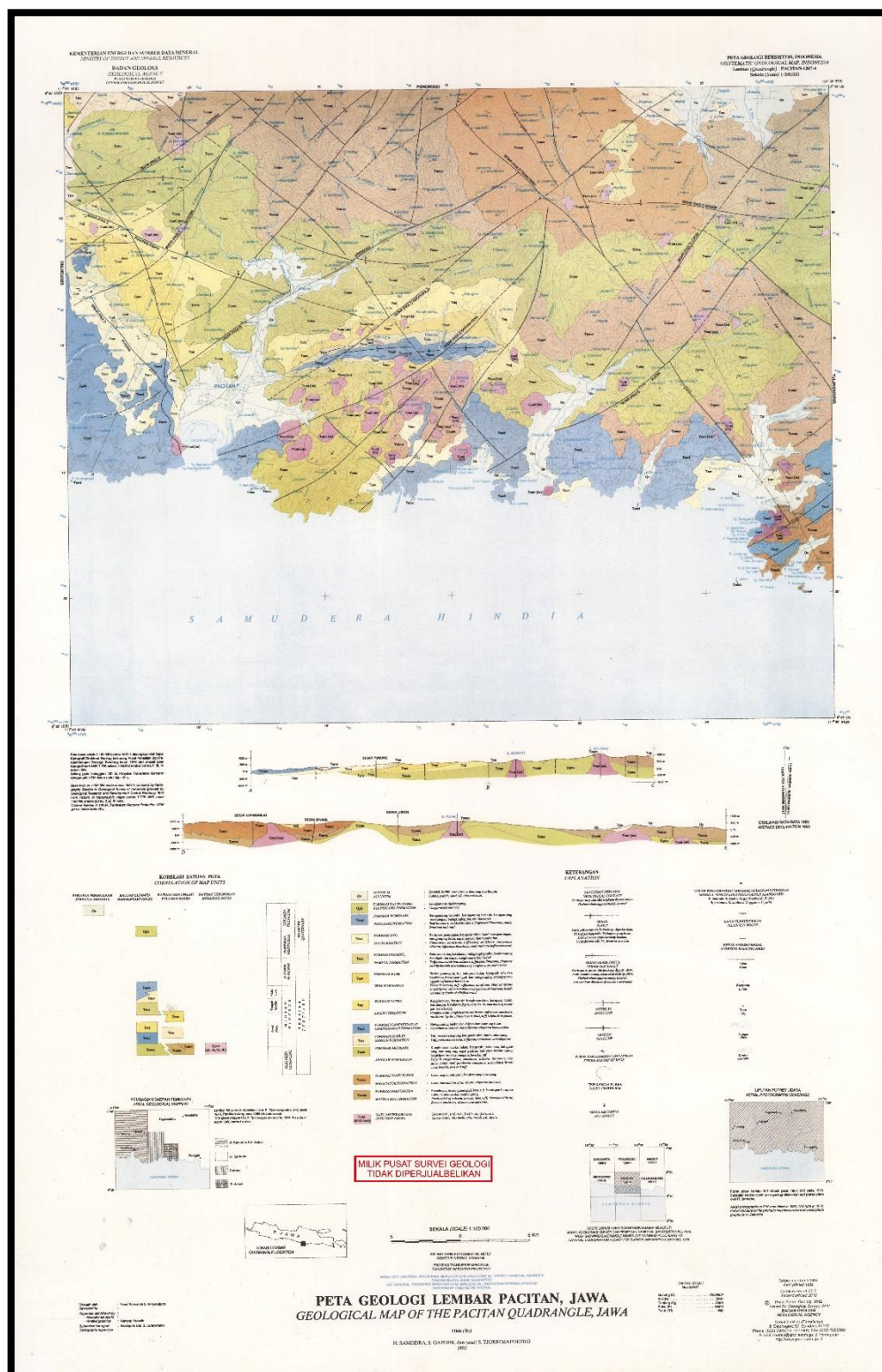
DATA PGA GEMPA MAGNITUDE 6.2 M											
LAT	LONG	EPIENTER	r	H	R	P	Q	MAG	PGA (gal)	PGA (g)	PGA (MMI)
-9.32	111.12	1.108205402	123.0108	69	4884.0108	1.66	0.167	6.2	84.65629759	0.086324027	5.395232931
-9.32	111.12	1.095069407	121.5527	69	4882.5527	1.66	0.167	6.2	83.60887121	0.085255966	5.375443638
-9.32	111.12	1.101819269	122.3019	69	4883.3019	1.66	0.167	6.2	96.25826235	0.09815455	5.599383144
-9.32	111.12	1.117220774	124.0115	69	4885.0115	1.66	0.167	6.2	87.90627728	0.089638031	5.455112792
-9.32	111.12	1.136628345	126.1657	69	4887.1657	1.66	0.167	6.2	65.8973257	0.067195503	4.997056112
-9.32	111.12	1.126817308	125.0767	69	4886.0767	1.66	0.167	6.2	89.03592552	0.090789933	5.475408916
-9.32	111.12	1.116820097	123.967	69	4884.967	1.66	0.167	6.2	108.6133021	0.110752984	5.791331844
-9.32	111.12	1.116750086	123.9593	69	4884.9593	1.66	0.167	6.2	86.95558883	0.088668614	5.437828851
-9.32	111.12	1.096204595	121.6787	69	4882.6787	1.66	0.167	6.2	91.82630034	0.093635278	5.524459539
-9.32	111.12	1.10608666	122.7756	69	4883.7756	1.66	0.167	6.2	68.82262354	0.070178429	5.06609628
-9.32	111.12	1.117974138	124.0951	69	4885.0951	1.66	0.167	6.2	91.0992528	0.092893908	5.511824223
-9.32	111.12	1.106856028	122.861	69	4883.861	1.66	0.167	6.2	81.53200095	0.083138181	5.335460849
-9.32	111.12	1.137911668	126.3082	69	4887.3082	1.66	0.167	6.2	286.9430182	0.292595796	7.335532123
-9.32	111.12	1.128372063	125.2493	69	4886.2493	1.66	0.167	6.2	438.3636358	0.446999399	8.009114344
-9.32	111.12	1.137591331	126.2726	69	4887.2726	1.66	0.167	6.2	67.31500557	0.068641111	5.030889503
-9.32	111.12	1.11812799	124.1122	69	4885.1122	1.66	0.167	6.2	220.3502404	0.22469114	6.915795515
-9.32	111.12	1.118588232	124.1633	69	4885.1633	1.66	0.167	6.2	58.8159593	0.059974634	4.816352376

DATA PGA GEMPA MAGNITUDE 6.2 M											
LAT	LONG	EPIENTER	r	H	R	P	Q	MAG	PGA (gal)	PGA (g)	PGA (MMI)
-9.32	111.12	1.110557646	123.2719	69	4884.2719	1.66	0.167	6.2	564.7457821	0.575871274	8.411781965
-9.32	111.12	1.098341159	121.9159	69	4882.9159	1.66	0.167	6.2	68.82274998	0.070178558	5.0660992
-9.32	111.12	1.138342492	126.356	69	4887.356	1.66	0.167	6.2	227.8272009	0.232315397	6.968836403
-9.32	111.12	1.1370645	126.2142	69	4887.2142	1.66	0.167	6.2	184.0238114	0.18764908	6.629438918
-9.32	111.12	1.127678889	125.1724	69	4886.1724	1.66	0.167	6.2	142.0531777	0.144851625	6.217970489
-9.32	111.12	1.136942738	126.2006	69	4887.2006	1.66	0.167	6.2	292.0222163	0.297775054	7.363422168
-9.32	111.12	1.114284118	123.6855	69	4884.6855	1.66	0.167	6.2	76.29089565	0.077793826	5.229850131
-9.32	111.12	1.111533898	123.3803	69	4884.3803	1.66	0.167	6.2	168.0356774	0.17134598	6.484969494
-9.32	111.12	1.110050486	123.2156	69	4884.2156	1.66	0.167	6.2	76.29096474	0.077793897	5.229851571
-9.32	111.12	1.088833523	120.8605	69	4881.8605	1.66	0.167	6.2	324.752395	0.331150017	7.532281647
-9.32	111.12	1.092108598	121.2241	69	4882.2241	1.66	0.167	6.2	38.48821568	0.039246434	4.142299666
-9.32	111.12	1.100934969	122.2038	69	4883.2038	1.66	0.167	6.2	146.2461148	0.149127163	6.264208675
-9.32	111.12	1.15212929	127.8864	69	4888.8864	1.66	0.167	6.2	177.6004686	0.181099198	6.572965433
-9.32	111.12	1.134097184	125.8848	69	4886.8848	1.66	0.167	6.2	299.2406006	0.30513564	7.402235095
-9.32	111.12	1.128536844	125.2676	69	4886.2676	1.66	0.167	6.2	130.7954674	0.133372138	6.086729261
-9.32	111.12	1.127676626	125.1721	69	4886.1721	1.66	0.167	6.2	172.7538655	0.176157117	6.528985652
-9.32	111.12	1.128181385	125.2281	69	4886.2281	1.66	0.167	6.2	247.1073967	0.251975412	7.097961828
-9.32	111.12	1.11029296	123.2425	69	4884.2425	1.66	0.167	6.2	85.58328071	0.087269271	5.412543486
-9.32	111.12	1.085310226	120.4694	69	4881.4694	1.66	0.167	6.2	240.4259552	0.245162346	7.054391741
-9.32	111.12	1.101159	122.2286	69	4883.2286	1.66	0.167	6.2	283.3366791	0.288918412	7.315428246
-9.32	111.12	1.164525956	129.2624	69	4890.2624	1.66	0.167	6.2	168.0348131	0.171345099	6.484961318
-9.32	111.12	1.146866565	127.3022	69	4888.3022	1.66	0.167	6.2	110.5104798	0.112687536	5.81885668
-9.32	111.12	1.146588221	127.2713	69	4888.2713	1.66	0.167	6.2	261.0197902	0.26616188	7.185024777
-9.32	111.12	1.115389374	123.8082	69	4884.8082	1.66	0.167	6.2	275.6977983	0.281129045	7.27198587

DATA PGA GEMPA MAGNITUDE 6.2 M											
LAT	LONG	EPIENTER	r	H	R	P	Q	MAG	PGA (gal)	PGA (g)	PGA (MMI)
-9.32	111.12	1.156898928	128.4158	69	4889.4158	1.66	0.167	6.2	158.967564	0.162099225	6.39678918
-9.32	111.12	1.12922161	125.3436	69	4886.3436	1.66	0.167	6.2	113.6694898	0.115908779	5.863656713
-9.32	111.12	1.166780012	129.5126	69	4890.5126	1.66	0.167	6.2	333.7201917	0.34029448	7.575579893
-9.32	111.12	1.10050074	122.1556	69	4883.1556	1.66	0.167	6.2	462.3440034	0.47145218	8.093772739
-9.32	111.12	1.147267208	127.3467	69	4888.3467	1.66	0.167	6.2	198.3384171	0.202245684	6.748509045
-9.32	111.12	1.149411718	127.5847	69	4888.5847	1.66	0.167	6.2	215.4150008	0.219658676	6.879789951
-9.32	111.12	1.087259274	120.6858	69	4881.6858	1.66	0.167	6.2	275.6982575	0.281129513	7.271988518

Lampiran 3. Dokumentasi Lapangan





Curriculum Vitae



SHINTA DEWI PERMATASARI

CONTACT



0821 4308 3450



shintadewi123738@gmail.com

PERSONAL DATA

Nama : Shinta Dewi Permatasari
TTL : Pacitan, 19 Februari 2002
Alamat : Jl. Teuku Umar RT 04/RW 05, Dusun Krajan Kidul, Kel. Ploso, Kec. Pacitan, Kab. Pacitan, Provinsi Jawa Timur
Jenis Kelamin : Perempuan
Kewarganegaraan : Indonesia

EDUCATION

- Program Studi Fisika, (2020-2024)
Fakultas Sains dan
Teknologi UIN Maulana
Malik Ibrahim Malang
- MAN Pacitan (2017-2020)
- MTs Negeri 1 Pacitan (2013-2017)
- MI Al Huda Ploso (2010-2013)
- SD Negeri Pacitan (2008-2010)

RIWAYAT ORGANISASI

Pemuda Untuk Pacitan (PETUPA)

- Divisi Pengarsipan 2018-2020
- Divisi Kesekretariatan 2021-2023

Forum Mahasiswa Fisika Jawa Timur (FORMASI JATIM)

- Koordinator Wilayah Malang (Korwil Malang)
Periode Tahun 2021
- Kepala Staff Humas Periode tahun 2022

HMPS Fisika "Astrolab" UIN MALANG

- Anggota Divisi Public Relation Periode 2021-2022
- Anggota Divisi Public Relation Periode 2022-2023

HKBM Geofisika UIN MALANG

- Koordinator Divisi Short Course Periode 2022

HAGI Student Chapter UIN MALANG

- Anggota Internal Membership Periode 2022-2023

Keluarga Pelajar Pacitan di Malang

- Sekretaris II Periode 2022
- Sekretaris I Periode 2023



JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 200604110005
Nama : SHINTA DEWI PERMATASARI
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan : FISIKA
Dosen Pembimbing 1 : Drs. ABDUL BASID,M.Si
Dosen Pembimbing 2 : ARISTA ROMADANI,S.Si., M.Sc
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : ANALISIS KERENTANAN GEMPA BERDASARKAN NILAI PEAK GROUND ACCELERATION DENGAN METODE HVSR DI KABUPATEN PACITAN

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	12 September 2023	Drs. ABDUL BASID,M.Si	Konsultasi Judul Skripsi	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
2	14 September 2023	Drs. ABDUL BASID,M.Si	Konsultasi BAB I	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
3	18 September 2023	Drs. ABDUL BASID,M.Si	Konsultasi BAB II	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
4	20 September 2023	Drs. ABDUL BASID,M.Si	Konsultasi BAB III	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
5	22 September 2023	Drs. ABDUL BASID,M.Si	Konsultasi BAB I,II,III	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
6	26 September 2023	Drs. ABDUL BASID,M.Si	Konsultasi Seminar Proposal	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
7	25 Oktober 2023	Drs. ABDUL BASID,M.Si	Konsultasi Revisi Seminar Proposal	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
8	27 Desember 2023	Drs. ABDUL BASID,M.Si	Konsultasi Penelitian di Lapangan	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
9	24 Januari 2024	Drs. ABDUL BASID,M.Si	Konsultasi Data Penelitian di Lapangan	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
10	28 Maret 2024	Drs. ABDUL BASID,M.Si	Konsultasi Ujian Komprehensif	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
11	10 Juni 2024	Drs. ABDUL BASID,M.Si	Konsultasi Hasil Penelitian	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
12	14 Juni 2024	ARISTA ROMADANI,S.Si., M.Sc	Konsultasi Integrasi BAB IV	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
13	11 Juli 2024	Drs. ABDUL BASID,M.Si	Konsultasi BAB IV dan BAB V	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
14	15 Juli 2024	ARISTA ROMADANI,S.Si., M.Sc	Konsultasi Revisi Integrasi BAB IV	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

ARISTA ROMADANI,S.Si., M.Sc

Kajur / Kaprodi,

Malang, _____

Dosen Pembimbing 1

Drs. ABDUL BASID,M.Si