

**ANALISIS ZONA AMBLESAN MENGGUNAKAN METODE
MIKROTREMOR UNTUK EVALUASI KEKUATAN
BANGUNAN DI KAMPUNG LAUT**

SKRIPSI



NADIA PUTRI ANDINI

F1D317033

**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOFISIKA
JURUSAN TEKNIK KEBUMIHAN**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JAMBI**

2023

**ANALISIS ZONA AMBLESAN MENGGUNAKAN METODE
MIKROTREMOR UNTUK EVALUASI KEKUATAN
BANGUNAN DI KAMPUNG LAUT**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat dalam melakukan penelitian dalam rangka penulisan Skripsi pada Program Studi Teknik Geofisika



NADIA PUTRI ANDINI

F1D317033

PROGRAM STUDI TEKNIK GEOFISIKA

JURUSAN TEKNIK KEBUMIHAN

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS JAMBI

2023

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan Judul “**ANALISIS ZONA AMBLESAN MENGGUNAKAN METODE MIKROTREMOR UNTUK EVALUASI KEKUATAN BANGUNAN DI KAMPUNG LAUT**” yang disusun oleh **NADIA PUTRI ANDINI, NIM : F1D317033** telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal 01 Februari 2023 dan dinyatakan lulus.

Susunan Tim Penguji :

Ketua : Dr. Lenny Marlinda, S.T., M.T.
Sekretaris : Rustan, S.Pd., M.Si.
Anggota : 1. Drs. Nasri MZ, M.S.
2. Dr. Drs. Ngatijo, M.Si.
3. D.M. Magdalena Ritonga, S.T., M.T.

Disetujui :

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Dr. Lenny Marlinda, S.T., M.T
NIP. 197907062008122002

Rustan, S.Pd., M.Si
NIP. 199009172019031011

Diketahui :

Dekan
Fakultas Sains dan Teknologi

Ketua Jurusan
Teknik Kebumian

Drs. Jefri Marzal, M.Sc., D.I.T
NIP. 196806021993031004

Dr. Lenny Marlinda, S.T., M.T
NIP. 197907062008122002

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar karya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Tanda tangan yang tertera dalam pengesahan adalah asli. Jika tidak asli, saya siap menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Jambi, Februari 2023

Yang menyatakan,

Nadia Putri Andini

F1D317033

RINGKASAN

Amblesan tanah atau penurunan muka tanah didefinisikan sebagai pemerosotan permukaan tanah secara tiba-tiba seiring dengan pergerakan material bumi. Penurunan muka tanah dapat terjadi karena beberapa alasan, seperti formasi bawah permukaan, tekanan sedimen, ketidakstabilan tanah pada permukaan miring, pengambilan air yang berlebihan, erosi yang disebabkan oleh pasang surut air laut serta dapat juga disebabkan oleh pembebanan permukaan. Penyebaran tanah di kawasan Kabupaten Tanjung Jabung Timur secara makro pada umumnya adalah tanah yang selalu dipengaruhi oleh air, yaitu tanah-tanah yang berumur muda dan tanah organik atau tanah gambut. Adapun cara untuk mengetahui kondisi dinamis dari tanah tersebut maka perlu dilakukan survei bawah permukaan. Salah satu metode geofisika untuk mengidentifikasi daerah rawan gerakan tanah adalah metode mikrotremor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai frekuensi natural (f_0), ketebalan sedimen (h), amplifikasi (A_0), indeks kerentanan seismik (k_g) serta mengetahui tingkat kekuatan bangunan berdasarkan nilai indeks kerentanan seismik. Berdasarkan hasil dari peta sebaran nilai indeks kerentanan seismik, secara umum daerah penelitian didominasi oleh zona dengan tingkat kerawanan yang sangat tinggi dengan nilai yaitu > 6 sehingga berpotensi terjadinya kerusakan bangunan pada saat terjadinya pergerakan tanah.

Kata kunci : Amblesan tanah, mikrotremor, frekuensi natural, amplifikasi, indeks kerentanan seismik.

SUMMARY

Land subsidence is defined as the sudden subsidence of the land surface along with the movement of earth materials. Land subsidence can occur for several reasons, such as subsurface formations, sediment pressure, soil instability on sloping surface, excessive water withdrawal, erosion caused by tides and can also be caused by surface loading. The distribution of soil in the East Tanjung Jabung Regency area in general is soil that is always affected by water, namely young soils and organic soils or peat soils. As for how to find out the dynamic conditions of the soil, it is necessary to carry out a subsurface survey. One of geophysical methods to identify areas prone to ground motion is the microtremor method. This study aims to determine the value of natural frequency (f_0), sediment thickness (h), amplification (A_0), seismic vulnerability index (k_g) and determine the strength level of the building based on the value of the seismic vulnerability index value distribution map, in general the study area is dominated by zones with a very high level of vulnerability with a k_g value of > 6 so that there is a potential for damage to buildings when ground movement occurs.

Keywords : subsidence, microtremor, natural frequency, amplification, seismic vulnerability index.

RIWAYAT HIDUP



Nadia Putri Andini dilahirkan pada 22 Oktober 1999 di Kampung Laut, Kabupaten Tanjung Jabung Timur. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Budi Hermanto dan Ibu Yas'ati yang berdomisili di Kelurahan Kampung Laut RT.04 RW.01 Kel. Kampung Laut, Kec. Kuala Jambi, Kab. Tanjung Jabung Timur. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri No. 30/X Kampung Laut dan lulus pada tahun 2011, kemudian melanjutkan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 1 Kuala Tungkal dan lulus pada tahun 2014, kemudian melanjutkan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 9 Tanjung Jabung Timur dan lulus pada tahun 2017.

Pada pertengahan 2017 penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Perguruan Tinggi Negeri Universitas Jambi Fakultas Sains Dan Teknologi Program Studi Teknik Geofisika melalui jalur SMMPTN. Selama menjalankan masa pendidikan selaku mahasiswa penulis tercatat sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Antareja Universitas Jambi dan menjabat sebagai anggota divisi Media dan Informasi periode 2020/2021. Penulis juga pernah mengikuti kuliah lapangan yang dilaksanakan di daerah Karangsambung Jawa Tengah pada tahun 2020. Penulis telah melaksanakan kegiatan magang atau kerja praktik yang dilaksanakan pada tahun 2020 di Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Provinsi Jambi, kemudian penulis melakukan kegiatan penelitian tugas akhir secara mandiri dengan judul **“ANALISIS ZONA AMBLESAN MENGGUNAKAN METODE MIKROTREMOR UNTUK EVALUASI KEKUATAN BANGUNAN DI KAMPUNG LAUT”**

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, Skripsi yang berjudul **“ANALISIS ZONA AMBLESAN MENGGUNAKAN METODE MIKROTREMOR UNTUK EVALUASI KEKUATAN BANGUNAN DI KAMPUNG LAUT”** diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini, Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak terkait yang telah membantu untuk menyelesaikan skripsi ini, antara lain :

1. Kepada kedua Orang Tua tercinta, Bapak Budi Hermanto dan Ibu Yas'ati beserta adik-adik saya tercinta Nadila Ineke Aryani dan Nazira Raysa Sahira yang selalu memberikan doa, semangat, kasih sayang serta dukungan moril maupun materil kepada penulis.
2. Bapak Drs. Jefri Marzal, M. Sc., D.I.T. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi yang telah memberikan izin selama proses penelitian tugas akhir.
3. Bapak Ir. Bambang Hariyadi, M. Si., Ph. D., selaku Wakil Dekan Baksi Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Jambi yang telah memberikan izin selama proses penelitian tugas akhir.
4. Ibu Dr. Lenny Marlinda, S.T., M.T. selaku Pembimbing I dan Bapak Rustan, S.Pd., M.Si., selaku Pembimbing II yang telah membimbing penulis dengan memberikan arahan dan masukan penyusunan Skripsi.
5. Ibu Ira Kusuma Dewi, S.Si., M.T. selaku ketua program studi Teknik Geofisika Universitas Jambi sekaligus Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak membantu penulis dalam proses belajar mengajar selama pendidikan.
6. Bapak Drs. Nasri MZ, M.S, Bapak Dr.Drs. Ngatijo, M.Si, Ibu DM. Magdalena Ritonga, ST., M.T selaku dosen penguji skripsi yang telah banyak memberikan kritik dan saran selama penulisan skripsi.
7. Seluruh tenaga pengajar di Teknik Geofisika dan Teknik Kebumihan yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat.
8. Sahabat-sahabatku yakni Sri Mulyani, S.E dan Rahayu Sagita yang telah sudi membantu, mendengarkan keluh kesah serta memberikan saran dan masukan kepada penulis sehingga penulis semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Teman-teman seperjuangan dari SMA hingga kuliah bersama yakni Siti Jumiaty, Eva Oktaviani, Kintan Agustina Manaar dan Siti Munawarah Fadhillah yang selalu memberikan dukungan dan doa serta saran dan kritik yang baik sehingga penulis dapat menyelaikan skripsi ini.

10. Teman-teman yakni Febi, Nada, Risda dan Refri yang ikut membantu dalam pengambilan data.

11. Keluarga besar Teknik Geofisika 2017 (Antareja 04) yang selalu memberikan dukungan dalam proses penelitian sampai selesai pengerjaan skripsi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan, sehingga adanya kritik dan saran dari berbagai pihak yang membangun tentu akan diterima agar skripsi ini menjadi lebih baik lagi. Dan tentunya penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Jambi, Februari 2023

Penulis

Nadia Putri Andini

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN	iv
RINGKASAN	v
SUMMARY	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PRAKATA	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Relevan	4
2.2 Geologi Regional	7
2.3 Gelombang Seismik	9
2.4 Metode Mikrotremor	13
2.5 Metode HVSR (<i>Horizontal to Vertical Spectra Ratio</i>)	14
2.6 Amplifikasi (A_0)	15
III. METODE PENELITIAN	18
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	18
3.2 Peralatan Penelitian	18
3.3 Software Penelitian	19
3.5 Tahapan Penelitian	19
3.6 Diagram Alir Penelitian	24
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	25
V. KESIMPULAN DAN SARAN	35
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.Stratigrafi Regional Cekungan Sumatra Selatan.....	9
2.Klasifikasi Gelombang Seismik	9
3.Perambatan Gelombang P (Bolt dalam Kearey dkk, 2002).....	10
4.Perambatan Gelombang S (Bolt dalam Kearey dkk, 2002)	11
5.Perambatan GelombangRayleigh (Bolt dalam Kearey dkk, 2002).....	12
6. Perambatan Gelombang Love (Bolt dalam Kearey dkk, 2002)	13
7.Konsep dasar amplifikasi gelombang seismik (Cipta, 2009)	17
8.Seismograf MAE A6000S dan Perangkat Alat Mikrotremor	19
9.Tampilan Data Hasil Rekaman Format .sg2	21
10.Contoh Pengubahan Nama Komponen	21
11.Tampilan Jendela Substract Value	21
12.Tampilan Analisis H/V	22
13.Penentuan Parameter H/V	22
14.Tampilan Hasil Windowing	22
15.Hasil Kurva H/V	23
16. Diagram Alir Penelitian.....	24
17. Peta Akuisisi Data Penelitian	25
18. Proses Windowing Data	26
19. Kurva Hasil Analisis HVSR pada titik 1	27
20. Peta Sebaran Nilai Amplifikasi Daerah Penelitian	31
21. Peta Sebaran Nilai Indeks Kerentanan Seismik (kg).....	33
22.Peta Geologi Regional Kecamatan Kuala Jambi	38

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi nilai faktor amplifikasi (Setiawan, 2009).....	16
2. Rincian Kegiatan Penelitian	18
3. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan Mikrotremor (Kanai, 1983).....	28

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Pengolahan Data	39
2. Pengambilan data	44

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Amblesan tanah atau penurunan muka tanah didefinisikan sebagai pemerosotan permukaan tanah secara tiba-tiba seiring dengan pergerakan material bumi. Penurunan muka tanah dapat terjadi karena beberapa alasan, seperti formasi bawah permukaan, tekanan sedimen, drainase, getaran, tekanan hidrolik, erosi mekanik bawah permukaan, ketidakstabilan tanah pada permukaan miring dan lain-lain (Rahmena dan Mirasi, 2013). Menurut Sarah dkk (2013), penurunan muka tanah dapat disebabkan oleh pengambilan air yang berlebihan, erosi yang disebabkan oleh pasang surut air laut serta dapat juga disebabkan oleh pembebanan permukaan. Contoh pembebanan permukaan antara lain bangunan perumahan warga, jalan dan dermaga atau pelabuhan. Dampak dari amblesan tanah antara lain terjadinya genangan di pemukiman yang lokasinya di tepi pantai, kerusakan rumah dan infrastruktur pemukiman (Soedarsono, 2011).

Menurut Ngatijo dkk (2022), lahan gambut berperan penting sebagai penambat air tawar yang cukup besar untuk menahan banjir saat musim hujan dan melepaskan air pada musim kemarau. Pembukaan lahan gambut melalui sistem tata air drainase yang dikembangkan menyebabkan kandungan air yang semula tersimpan di areal lahan bergambut mengalir dengan cepat ke saluran kemudian menuju sungai. Akibat dari itu tanah gambut menyusut dan terjadi penurunan muka air tanah dan kehilangan bahan dasar tanah organik sebagai akibat oksidasi bahan organiknya. Lebih lanjut, terjadilah penurunan permukaan tanah gambut di lahan yang sering dikenal dengan istilah *Peat Subsidence* dan terurainya simpanan karbon di dalam tanah menjadi emisi karbon (PUSLITBANG Sumber Daya Air).

Penyebaran tanah di kawasan Kabupaten Tanjung Jabung Timur secara makro pada umumnya adalah tanah yang selalu dipengaruhi oleh air, yaitu tanah-tanah yang berumur muda dan tanah organik atau tanah gambut. Secara geologis daerah Tanjung Jabung Timur tersusun atas tiga satuan batuan, yaitu satuan endapan alluvial, satuan endapan permukaan dan satuan batulempung. Endapan alluvial terdiri dari material lepas berupa lempung, pasir, kerikil dan kerakal. Endapan rawa terdiri dari material sisa-sisa tumbuhan (gambut) dan material lepas yang berukuran lempung dan pasir serta diperkirakan berumur Holosen. Satuan batulempung dicirikan oleh batulempung berwarna putih abu-abu, lunak porositas buruk dan non karbonatan. Satuan ini dapat digolongkan ke dalam Formasi Kasai yang berumur Pliosen-Plistosen Awal (Kusnadi dkk, 2009).

Dari uraian diatas adapun cara untuk mengetahui kondisi dinamis dari tanah tersebut maka perlu dilakukan survei bawah permukaan. Kegiatan survei bawah permukaan berkaitan dengan struktur tanah dari daerah pengukuran. Menurut Yuliyanto dkk (2016), salah satu metode geofisika untuk mengidentifikasi daerah rawan gerakan tanah adalah metode mikrotremor. Selain pengukuran dengan mikrotremor, untuk mengetahui struktur bawah tanah juga dapat menggunakan metode geolistrik. Menurut Tama dan Supriyadi (2015), perbedaan kedua metode tersebut adalah terletak pada sumber dan data yang diperoleh. Metode mikrotremor memerlukan sumber getaran alami untuk memperoleh data frekuensi dominan dan faktor amplifikasi, sedangkan metode geolistrik memerlukan arus dan potensial yang diinjeksikan ke dalam bumi untuk memperoleh data resistivitas.

Metode mikrotremor merupakan salah satu metode yang banyak digunakan dalam penelitian bawah permukaan. Metode ini menggunakan HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) dari mikrotremor untuk mengestimasi frekuensi natural dan faktor amplifikasi tanah setempat). Parameter penting yang dihasilkan dari metode HVSR ialah frekuensi dominan tanah (f_g) dan faktor amplifikasi spektrum tanah (A_g) yang merupakan nilai puncak kurva HVSR, berkaitan dengan geologi setempat dan parameter fisik bawah permukaan. Metode ini juga mampu mengestimasi indeks kerentanan tanah indeks kerentanan bangunan dan interaksi antara tanah dan bangunan (Nakamura, 1989).

Struktur bawah permukaan sangat berpengaruh pada kekuatan bangunan, oleh karena itu penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul **“Analisis Zona Amblesan Menggunakan Metode Mikrotremor Untuk Evaluasi Kekuatan Bangunan di Kampung Laut”** karena di daerah tersebut memiliki jenis tanah yang berpotensi terjadinya amblesan. Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi lebih baik mengenai kerentanan bangunan daerah penelitian.

1.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah

Proses pengikisan tanah/erosi pada daerah pesisir pantai mengakibatkan terjadinya amblesan tanah. Kerugian yang ditimbulkan sudah sangat besar seperti banyak lahan yang hilang, kerusakan perumahan dan fasilitas umum. Sehingga ada beberapa masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini antara lain :

1. Bagaimanakah karakteristik tanah bawah permukaan di lokasi penelitian berdasarkan nilai frekuensi natural (f_0), ketebalan sedimen (h), amplifikasi (A_0), dan indeks kerentanan seismik (K_g)?

2. Bagaimana tingkat kekuatan bangunan berdasarkan nilai indeks kerentananseismik di lokasi penelitian?

1. 3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui nilai frekuensi natural (f_0), ketebalan sedimen (h), amplifikasi (A_0), indeks kerentanan seismik (K_g).
2. Mengetahui tingkat kekuatan bangunan berdasarkan nilai indeks kerentanan seismik.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1. Bagi Peneliti
Penelitian ini bermanfaat untuk meningkatkan pengetahuan dan kesempatan untuk mengaplikasikan teori yang didapat di bangku perkuliahan. Penelitian ini juga diharapkan dapat membantu penelitian lain yang membutuhkan referensi terkait penelitian dengan topik yang sama.
2. Bagi Masyarakat
Penelitian ini diharapkan dapat membantu dan menambah pengetahuan bagi masyarakat mengenai bahaya dan dampak yang disebabkan oleh amblesan tanah.
3. Bagi pemerintah atau instansi terkait
Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan acuan dan diterapkan untuk kepentingan perencanaan, pelaksanaan dan pengendalian pembangunan infrastruktur.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Relevan

Tohari dkk (2013) melakukan penelitian peristiwa gempabumi besar (Mw 7.6) yang terjadi pada tanggal 30 September 2009 menimbulkan peristiwa semburan pasir dan amblesan tanah di wilayah pantai di Kota Padang dan menyebabkan kerusakan parah pada bangunan dan infrastruktur jalan. Untuk mengetahui karakteristik dinamik lapisan tanah yang mengalami likuifaksi dilakukan survei mikrotremor. Hasil analisis rasio spektra horizontal dan vertikal pada 250 data mikrotremor menunjukkan bahwa lapisan tanah pasir yang mengalami likuifaksi mempunyai periode dominan antara 1 dan 2 detik, dengan faktor amplifikasi lebih besar dari 3. Akan tetapi, daerah pesisir bagian selatan mempunyai nilai faktor amplifikasi lebih tinggi dibandingkan daerah pesisir bagian utara. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa metode mikrotremor dapat membantu untuk memetakan daerah-daerah yang berpotensi likuifaksi.

Sasongko dkk (2020), melakukan penelitian mengenai gerakan tanah di Lapangan Pandanmurti, Desa Candigaron, Kecamatan Sumowono, Kabupaten Semarang berupa tanah retak dan sebagian mengalami penurunan tanah. Untuk mengidentifikasi daerah gerakan tanah ini dilakukan survei mikrotremor dengan metode HVSr. Berdasarkan pemodelan 2D daerah yang mengalami gerakan tanah terkarakterisasi oleh lapisan tanah dengan nilai amplifikasi lebih besar daripada 1 dengan rentang amplifikasi 1-6,5. Frekuensi dominan lapisan tanah lokasi penelitian terkarakterisasi mempunyai nilai 0,02-0,06 Hz. Berdasarkan pemodelan 3D separasi berkas amblesan dengan bagian yang belum ambles dicirikan dengan adanya diskontinuitas di bagian selatan-tenggara dengan isovalue nilai frekuensi 1,36 Hz dan daerah yang tidak mengalami deformasi lebih lanjut dicirikan dengan isovalue nilai amplifikasi lebih besar dari 0,79. Berdasarkan kontur lokasi penelitian Gerakan tanah di lokasi penelitian bersifat rayapan (*creeping*). Pengukuran lebih lanjut menuju daerah terlewati atau pilihannya untuk mitigasi bencana longsor lanjutan.

Wulandari dan Bahri (2012), telah melakukan analisis mikrotremor pada gedung Perpustakaan ITS dengan menggunakan metode FSR (*Floor Spectral Ratio*) untuk memperkirakan fungsi transfer (amplifikasi, frekuensi natural dan indeks kerentanan) dan metode RDM (*Random Decrement Metode*) untuk karakteristik dinamik bangunan (ratio redaman dan frekuensi natural). Berdasarkan data penelitian hubungan FSR dan RDM sangat erat

sehingga menghasilkan rasio redaman yang akurat dari validasi frekuensi natural pada FSR dan RDM. Hubungan antara ratio redaman dengan frekuensi natural menghasilkan analisis *non linear* karena rasio redaman bergantung pada jenis material bangunan dan hubungan antara ratio redaman dengan indeks kerentanan menghasilkan jika kerentanan bangunan tinggi maka rasio redaman kecil. Hasil dari penelitian ini nilai frekuensi natural dari FSR 1.45 – 1.52 Hz dan hasil RDM 1.51 – 1.79 Hz. Gedung perpustakaan ITS tergolong bangunan kuat dari hasil rasio redaman antara 3-7%. Nilai indeks kerentanan paling tinggi adalah terletak di lantai dua gedung perpustakaan. Jadi lantai dua merupakan bangunan yang paling lemah jika terjadi kerusakan gedung.

Subramaniam (2019), melakukan penelitian mengenai penentuan kedalaman batuan dasar merupakan bagian penting dari desain/penyelarasan/perencanaan awal dari setiap proyek infrastruktur seperti pembuatan terowongan, pondasi dan utilitas bawah tanah. Pengeboran lubang bor untuk mengidentifikasi kedalaman batuan dasar seringkali memakan waktu, mahal dan proses rumit. Dalam penelitian ini, metode mikrotremor digunakan untuk mengidentifikasi kedalaman batuan dasar yang lapuk. Serangkaian pengukuran *Ambient Microtremor Array* (AMA) dan metode mikrotremor dilakukan pada formasi Jurong di Singapura. Berdasarkan pengukuran gelombang permukaan ini dan informasi *borelog* referensi yang tersedia, tiga pendekatan berbeda – (1) pendekatan berbasis kecepatan gelombang geser (V_s); (2) pendekatan berbasis panjang gelombang dan (3) pendekatan Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) – diusulkan untuk mengidentifikasi kedalaman batuan dasar di formasi Jurong. Untuk pendekatan berbasis V_s , nilai referensi spesifik V_s disarankan untuk memperkirakan kedalaman batuan dasar di formasi Jurong, yang mudah ditentukan oleh profil V_s . Dalam pendekatan berbasis panjang gelombang, kurva dispersi eksperimental dalam bentuk panjang gelombang dan kecepatan fase ditemukan mampu mengidentifikasi titik deviasi yang dapat digunakan untuk memprediksi kedalaman batuan dasar yang sesuai. Hubungan antara titik deviasi dalam panjang gelombang dan kedalaman batuan dasar telah ditetapkan. Dalam pendekatan berbasis HVSR, model korelasi empiris terbentuk antara frekuensi alami yang diperoleh dari profil HVSR dan informasi kedalaman batuan dasar. Sebagai kesimpulan, ketiga pendekatan dapat memberikan perkiraan yang masuk akal secara keseluruhan di kedalaman batuan dasar meskipun pendekatan berbasis V_s sedikit lebih baik dalam statistik, diikuti oleh pendekatan berbasis HVSR.

Berdasarkan penelitian Sungkono dkk (2011), Mikroremor telah diukur dalam evaluasi bangunan pada saat getaran gempa pada struktur bangunan. Dalam penelitian ini, rekaman mikrotremor di 6 bangunan umum (sekolah dan masjid) masing-masing selama 15 menit. Setelah merekam data, adalah diperoleh analisis menggunakan *Random Decrement Method* (RDM) untuk turunkan dinamika struktural (rasio redaman dan frekuensi alami) dan Rasio Spektral Lantai (FSR) untuk memperkirakan fungsi transfer (amplifikasi, frekuensi alami dan indeks kerentanan) dari enam bangunan di Pare, Jawa Timur. Untuk mendapatkan rasio redaman yang akurat, validasi frekuensi natural dengan RDM dan FSR dilakukan. Berdasarkan data percobaan, rentang variasi dan kecenderungan antara rasio redaman dan frekuensi dengan redaman rasio dan indeks kerentanan, bersama dengan pendahuluan faktor pengaruh, ditampilkan dan didiskusikan. Selain itu, pas kurva menunjukkan hubungan antara rasio redaman dan frekuensi alami dasar bangunan dengan redaman rasio dan kerentanan bangunan. Selanjutnya, evaluasi bangunan kekuatan dapat menggunakan rasio redaman, frekuensi alami dan indeks kerentanan bangunan diperkirakan dengan data mikrotremor. Kemudian, kekuatan bangunan telah dievaluasi dari parameter ini.

Salwan dkk (2009), telah melakukan survei mikrotremor dengan menggunakan metode HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) di Kecamatan Pleret, Bantul. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan distribusi frekuensi resonansi dan amplifikasinya kemudian dibandingkan dengan tingkat kerusakan akibat gempa Jogjakarta 27 Mei 2006. Berdasarkan frekuensi yang diperoleh kemudian dihitung kedalaman lapisan lapuk. Akuisisi data dilakukan dengan sensor velocimeter L4-3D single station dan data logger DATAMARK LS-7000. Pengukuran mikrotremor dilakukan dalam bentuk grid dengan spasi + 500m yang mencakup seluruh kecamatan Pleret dengan durasi pengukuran tiap titik kurang lebih 5 menit.. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa frekuensi resonansi yang ada berkisar antara 1 sampai 13 Hz. Daerah yang memiliki frekuensi resonansi rendah terkonsentrasi di Distribusi amplifikasinya memiliki rentang nilai 1 sampai 9 kali. Amplifikasi yang tinggi berada di daerah dataran dan lembah (cekungan) yang terisi oleh endapan. Kedalaman lapisan lapuknya bervariasi dari 4 sampai 44 m. Data tingkat kerusakan yang diperoleh dari pengamatan lapangan dan citra satelit dikorelasikan dengan frekuensi resonansi dan amplifikasi. Pengamatan secara kualitatif memperlihatkan adanya korelasi yang bagus antara tingkat kerusakan dengan frekuensi resonansi dan amplifikasi.

2.2 Geologi Regional

Kabupaten Tanjung Jabung Timur secara geografis terletak pada 0°53' - 1°41' LS dan 103°23 - 104°31 BT dengan luas 5.445 km² dengan ketinggian Ibukota Kecamatan dalam Kabupaten Tanjung Jabung Timur berkisar antara 1-5 m diatas permukaan laut. Kabupaten Tanjung Jabung Timur berbatasan langsung dengan Laut Cina Selatan di Sebelah Utara, Kabupaten Muaro Jambi dan Provinsi Sumatera Selatan di sebelah Selatan, Kabupaten Tanjung Jabung Barat dan Kabupaten Muaro Jambi di sebelah Barat. Berdasarkan Zona Agroklimat, Tanjung Jabung Timur memiliki 8 bulan basah (bulan dengan curah hujan > 200 mm) dan 2 bulan kering (bulan dengan curah hujan < 100 mm) berturut-turut. Bulan basah terjadi pada bulan Oktober sampai April, sedangkan bulan kering terjadi mulai bulan Juni sampai Agustus (Pemkab Tanjung Jabung Timur).

Fisiografi dan Geomorfologi

Kabupaten Tanjung Jabung Timur berada di ketinggian kurang lebih 0 – 100 meter dari permukaan laut. Topografi daerah pada umumnya dataran rendah terdiri dari rawa/gambut dengan permukaan tanah banyak dialiri pasang surut air laut. Kabupaten Tanjung Jabung Timur yang sebagian secara topografi, seluruh kawasan mempunyai kelerengan antara 0 – 3 % (datar). Kawasan ini dapat dikembangkan sebagai kawasan pertanian dengan syarat input drainase, yang berfungsi juga sebagai saluran irigasi karena adanya pengaruh arus pasang. Berdasarkan hasil studi serta pengukuran yang telah dilakukan sebelumnya, semua elevasi di daerah rawa-rawa sepanjang Sungai Batanghari dinyatakan dalam acuan ketinggian yang sama, yaitu dalam meter di atas Project reference Level (M + PRL). Acuan ketinggian di kawasan perencanaan diambil dari ketinggian BM (Bench Mark) BK 63 (Pemkab Tanjung Jabung Timur).

Secara umum wilayah Kabupaten Tanjung Jabung Timur dapat dikelompokkan dalam beberapa satuan morfologi yaitu dataran rendah dan perbukitan yang bergelombang halus. Dari bentuk morfologi dan penyebaran batuanya, maka orientasi kearah barat akan dijumpai morfologi yang lebih tinggi yaitu morfologi perbukitan gelombang halus, yang diikuti dengan variasi dan jenis batuan yang ada, sedangkan pada orientasi kearah timur akan dijumpai morfologi dataran rendah dan batuan yang relatif sejenis. Kondisi tofografi dan morfologi demikian, menyebabkan wilayah Kabupaten Tanjung Jabung Timur memiliki potensi sumber daya yang besar dengan keindahan cagar alam dan pantainya. Penyebaran tanah di kawasan Kabupaten Tanjung Jabung Timur secara makro pada umumnya adalah tanah yang selalu

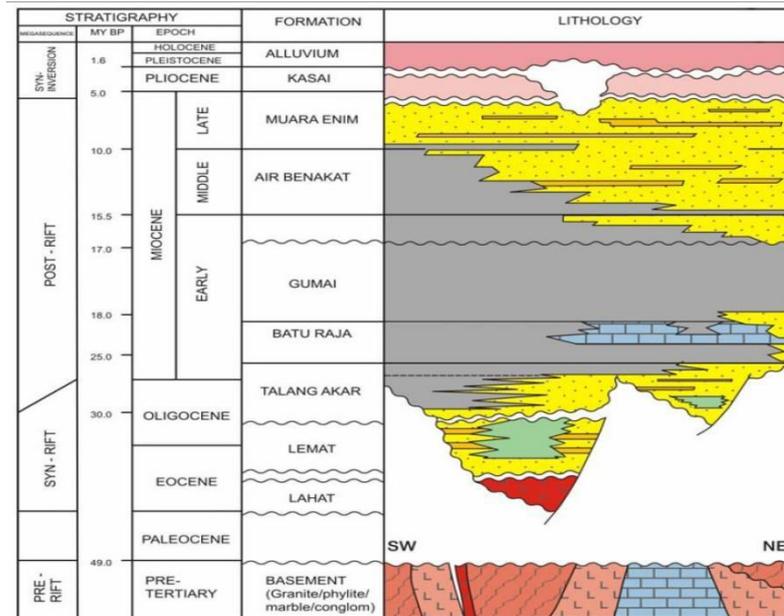
dipengaruhi oleh air, yaitu tanah- tanah yang berumur muda dan tanah organik atau tanah gambut. Beberapa jenis tanah yang terdapat di kawasan perencanaan menurut Pusat Penelitian Tanah (PPT) Bogor (1983), yaitu : Aluvial Tionik, Aluvial Gleik, Aluvial Humik, Organosol Fibrik, Organosol Saprik, Organosol Humik, dan Gleisol Humik (Pemekab Tanjung Jabung Timur).

Tatanan Tektonik

Sub-cekungan Jambi merupakan bagian dari Cekungan Sumatra Selatan yang pada saat ini merupakan cekungan belakang busur magmatik pada sistem aktif margin antara Lempeng Benua Eurasia dan Lempeng Samudra India. Pembentukan Sub-cekungan Jambi sebagai bagian dari Cekungan Sumatra Selatan tidak terlepas dari evolusi tektonik yang terjadi Asia tenggara. Pergerakan Lempeng Benua India yang terus bergerak menuju utara hingga bertumbukan (*collision*) dengan Lempeng Benua Eurasia dan subduksi Lempeng Samudra Australia-India ke bawah Lempeng Eurasia seluruhnya mempengaruhi pembentukan cekungan-cekungan di Asia Tenggara, khususnya Cekungan Sumatra Selatan. Struktur geologi yang berkembang di Cekungan Sumatra Selatan khususnya Subcekungan Jambi pada saat ini merupakan hasil evolusi tektonik dan konfigurasi batuan dasar (Firmansyah, 2016).

Stratigrafi

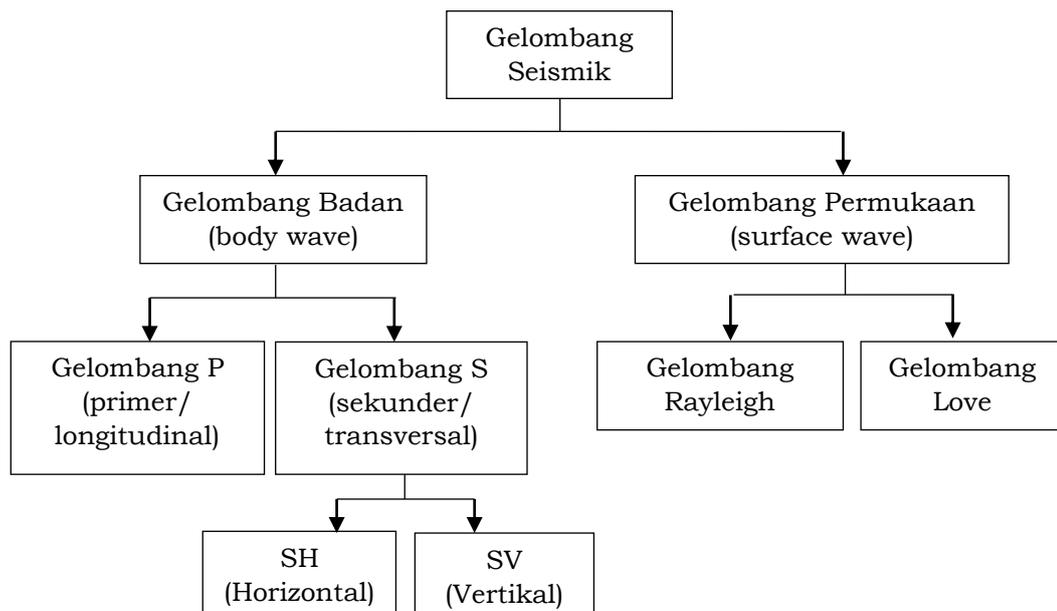
Tatanan stratigrafi Sub Cekungan Jambi merupakan bagian dari Cekungan Sumatra Selatan. De Coster (1974), menjelaskan bahwa sedimen berumur Tersier di Cekungan Sumatera Selatan diendapkan pada siklus transgresi dan regresi yang terjadi dari Paleosen - Eosen sampai Pliosen - Pleistosen. Pengisian sedimen Tersier di dalam cekungan dimulai pada umur Paleosen - Oligosen yang dicirikan oleh batuan sedimen klastik kontinen yang mengandung tuf kemudian dilanjutkan oleh pengendapan sedimen pada lingkungan pengendapan delta dan laut pada umur Oligosen Akhir sampai Miosen Tengah. Proses siklus regresi yang mulai terjadi pada akhir Miosen Tengah dicirikan dengan proses sedimentasi pada lingkungan laut dangkal dan laut dalam yang kemudian secara berangsur berubah menjadi sedimentasi lingkungan delta dan darat. Siklus sedimentasi selanjutnya diakhiri dengan pengendapan batuan berumur Pliosen-Pleistosen yang dicirikan oleh batuan klastik tufaan akibat pengaruh proses orogenesis saat itu.



Gambar 1. Stratigrafi Regional Cekungan Sumatra Selatan

2.3 Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang-gelombang yang merambat di dalam bumi dan di permukaan bumi. Gelombang seismik berasal dari suatu sumber seismik, misalkan gempa, ledakan (proses kimia atau nuklir), erupsi gunung api dan longsor. Getaran gempa menimbulkan gelombang gempabumi yang menjalar ke seluruh lapisan bumi. Gelombang seismik secara ringkas dapat dijelaskan terdiri dari 2 jenis, yaitu gelombang permukaan (*surface wave*) dan gelombang badan (*body wave*) (Gazali, 2017). Adapun klasifikasi gelombang seismik dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Klasifikasi Gelombang Seismik

Gelombang Badan (*body waves*)

Menurut Afnimar (2009), gelombang badan (*body waves*) mempunyai dua macam gelombang yakni gelombang P (*primary/longitudinal*) dan S (*secondary/transversal*). Gelombang P merupakan gelombang primer yang merambat lebih cepat dan datang pertama kali. Sedangkan gelombang S merupakan gelombang yang datang setelah gelombang P dan ditandai dengan amplitudo yang lebih besar dari gelombang P.

Gelombang badan atau *body waves* merupakan gelombang yang menjalar melalui bagian dalam bumi yang biasa disebut dengan *free wave* karena dapat menjalar ke segala arah di dalam bumi. Gelombang badan terdiri dari dua gelombang yaitu gelombang primer atau longitudinal (*compressional wave*) dan gelombang transversal atau gelombang sekunder (*shear wave*).

Gelombang P

Gelombang yang disebut dengan kompresi (gelombang primer/*primary wave* atau gelombang P) apabila pergerakan partikel gelombang sejajar dengan arah penjalaran gelombangnya (Brown, 2005). Penjalaran gelombang P dapat dilihat pada **Gambar 3** dan kecepatan gelombang P dapat dirumuskan pada **persamaan 1**:

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (1)$$

Keterangan :

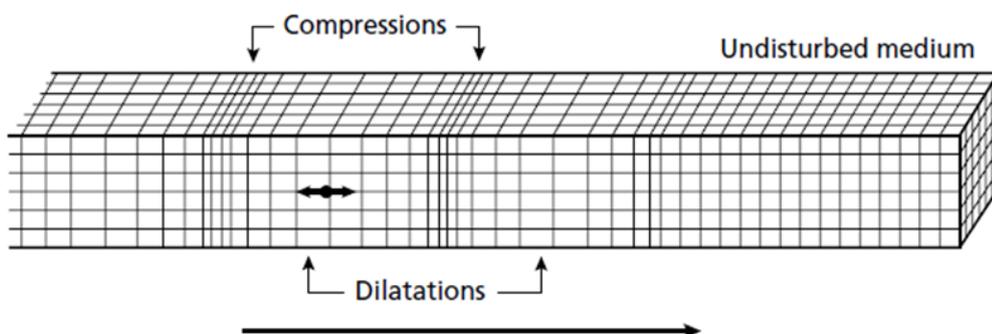
V_p : Kecepatan gelombang P (m/s)

λ : Panjang gelombang (m)

μ : Modulus geser (Pa)

ρ : Densitas (Kg/m^3)

K : Modulus Bulk (Pa)



Gambar 3.Perambatan Gelombang P (Bolt dalam Kearey dkk, 2002)

Gelombang S

Gelombang ini disebut juga dengan gelombang geser (gelombang sekunder atau *secondary wave* atau gelombang S) adalah gelombang yang pergerakan partikel tegak lurus dengan arah penjalaran gelombangnya. Adapun dua komponen pada gelombang S, yaitu gelombang S untuk arah horizontal (*shear horizontal*) dan gelombang S untuk arah vertikal (*shear vertical*). Kedua arah dari gelombang S ini saling tegak lurus. Penjalaran gelombang S dapat dilihat pada **Gambar 4** dan kecepatan gelombang S dapat dirumuskan pada **persamaan 2**:

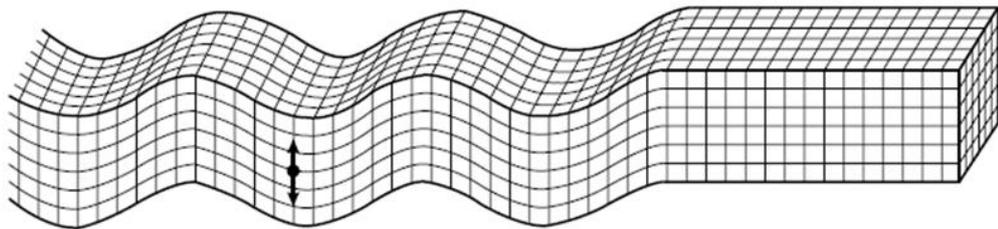
$$V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2)$$

Keterangan :

V_S : Kecepatan gelombang S (m/s)

μ : Modulus geser (Pa)

ρ : Densitas (kg/m³)



Gambar 4.Perambatan Gelombang S (Bolt dalam Kearey dkk, 2002)

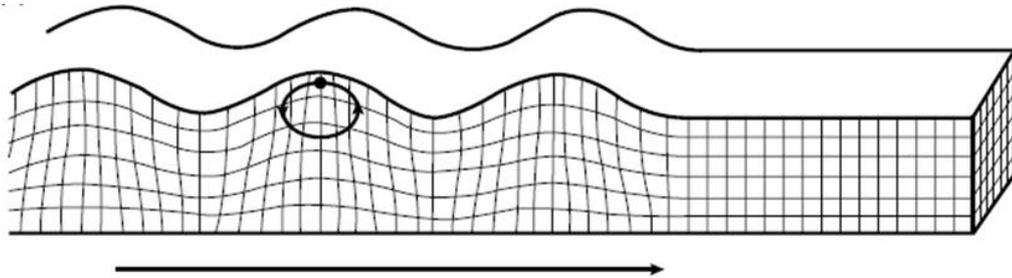
Gelombang Permukaan

Gelombang permukaan atau *surface wave* merupakan gelombang seismik yang merambat secara paralel ke arah permukaan bumi tanpa penyebaran energi ke dalam interior bumi, kemudian amplitudo gelombangnya akan berkurang secara eksponensial terhadap kedalaman, dan kebanyakan dari energinya merambat pada daerah dangkal setara dengan satu panjang gelombang (Ariestianty, 2010). Perambatan gelombang permukaan dipengaruhi oleh sifat bagian lapisan yang terbatas. Gelombang permukaan dibagi menjadi dua jenis yaitu :

Gelombang Rayleigh

Gelombang *Rayleigh* atau dikenal *groundroll* merupakan gelombang yang merambat di permukaan, dimana pergerakan partikel gelombangnya menyerupai *elips* dan bergerak mundur. Nilai kecepatan gelombang *Rayleigh* dalam suatu medium homogen akan lebih kecil apabila dibandingkan dengan kecepatan gelombang geser dan apabila terdapat variasi sifat elastik terhadap kedalaman, maka gelombang *Rayleigh* akan terdispersikan, dimana

rambatan gelombang akan memiliki kecepatan berbeda karena panjang gelombang yang berbeda (Telford dkk, 1990). Berkurangnya amplitudo gelombang *Rayleigh* seiring dengan bertambahnya kedalaman ditunjukkan pada **Gambar 5**.

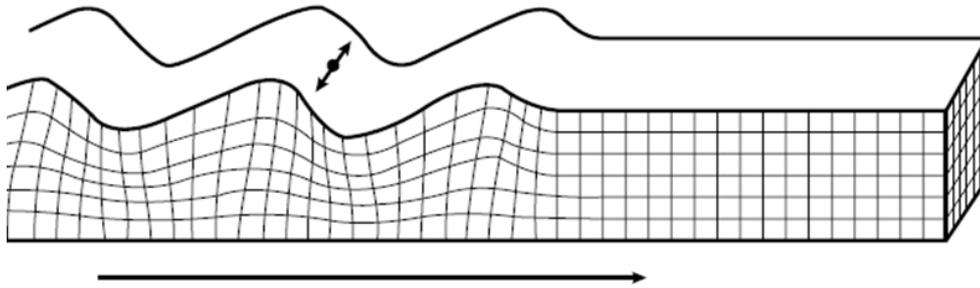


Gambar 5.Perambatan Gelombang *Rayleigh* (Bolt dalam Kearey dkk, 2002)

Gelombang ini digunakan untuk mencitrakan struktur bawah permukaan dengan aplikasi yang lebih mudah pada karakteristik geoteknik. Karena gelombang *Rayleigh* bersifat unik, yaitu setiap gelombang merambat melewati batas lapisan material bumi akan mengalami dispersi. Dan efek dari gelombang *Rayleigh* sangat besar, jadi apabila kekuatan sumber atau *source* diterapkan di permukaan tanah dan gelombang *Rayleigh* yang dihasilkan mencapai 67% dari total energi yang dihasilkan sumbernya (Hertantyo dan Brotopuspito, 2010). Maka gelombang *Rayleigh* digunakan untuk mengidentifikasi masalah struktur tanah, karena pengurangan energi gelombang *Rayleigh* dalam perambatannya lebih rendah dari jenis gelombang seismik lain (Shearer, 2009). Adapun pola dari pergerakan gelombang *Rayleigh*

Gelombang Love

Gelombang *love* merupakan gelombang permukaan yang terjadi pada kondisi stratigrafi khusus yang kecepatan geser pada lapisan teratasnya lebih kecil dari lapisan yang berada di bawahnya. Gelombang *love* merupakan gelombang dari hasil polarisasi gelombang S yang arah penjarannya paralel dengan permukaannya secara horizontal, seperti pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Perambatan Gelombang Love (Bolt dalam Kearey dkk, 2002)

Pergerakan dari partikel gelombang memotong arah rambatnya dan paralel terhadap permukaan bebas. Gelombang tidak dapat terjadi pada medium homogen dan pada media berlapis gelombang *love* terdispersi, dimana kecepatannya cenderung kepada kecepatan geser pada lapisan bawah pada frekuensi rendah dan cenderung kepada kecepatan geser pada lapisan teratas pada frekuensi tinggi.

2. 4 Metode Mikrotremor

Mikrotremor merupakan getaran tanah yang sangat kecil dan terus menerus yang bersumber dari berbagai macam getaran seperti lalu lintas, angin, aktivitas manusia dan lain-lain. Mikrotremor dapat juga diartikan sebagai getaran harmonikalami tanah 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 alam lainnya (Kanai, 1983).

Survei mikrotremor dapat dilakukan dengan perekaman secara simultan pada dua atau lebih lokasi. Salah satunya harus dilakukan di tempat yang memiliki struktur batuan keras (*hard rock*). Hal ini agar tidak terjadi penguatan frekuensi akibat gerakan tanah. Rasio spektrum yang diperoleh pada daerah lain akan dibandingkan dengan rasio spektrum yang terekam pada *hard rock*, sehingga diperoleh respon *site* terhadap mikrotremor. Oleh Nakamura (1989) diperkenalkan pendekatan kedua bersamaan dengan metode analisisnya. Ia menemukan bahwa rasio dari spektrum vertikal dan horizontal dari mikrotremor mengalami peningkatan pada frekuensi resonansi dan akan memperlihatkan puncak pada frekuensi tersebut. Menurut asumsi Nakamura, H/V merefleksikan tingkat amplifikasi dari gerakan tanah. Dengan menggunakan metode ini maka pengukuran tidak perlu dilakukan menggunakan syarat adanya batuan keras (*hard rock*). Secara umum perekaman mikrotremor memerlukan seismometer dengan tiga komponen yang merekam komponen NS (*north-south*), EW (*east-west*), dan vertikal (*up-down*). Pada perekaman mikrotremor dilakukan pengukuran secara langsung karena yang

direkam yaitu gelombang yang berasal dari alam, sehingga tidak memerlukan sumber buatan.

Pengukuran mikrotremor pada bangunan bisa dilakukan dengan menggunakan alat seismometer tiga komponen yaitu dua komponen horizontal arah Utara-Selatan (*North-South*) dan Timur-Barat (*East-West*) serta satu komponen vertikal. Peralatan pengukuran dimungkinkan diletakkan di dekat pusat massa bangunan dan dekat dengan dinding bangunan tersebut. SESAME (2004) menyarankan lama pengukuran yaitu selama 10-15 menit, karena biasanya bangunan memiliki frekuensi natural rata-rata lebih dari 1 Hz dan kurang dari 8 Hz, sedangkan frekuensi di bawah 1 Hz diabaikan. Jarak pengukuran bangunan dengan struktur tanah diusahakan dekat dan pada kondisi geologi yang sama. Selama ini belum ada referensi yang menyebutkan parameter jarak minimum pengukuran antara bangunan dan tanah.

2.5 Metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectra Ratio*)

Metode HVSR biasanya digunakan pada seismik pasif (mikrotremor) tiga komponen. Dalam pengamatan di lapangan, ada dua komponen horizontal yang diukur yaitu komponen utara-selatan dan komponen barat-timur. Penguatan gelombang pada komponen vertikal dapat dinyatakan sebagai rasio spektrum komponen vertikal di permukaan dan di batuan dasar. Metode HVSR dapat digunakan untuk estimasi frekuensi natural yang tidak bergantung sumber dan waktu (Bonney-Claudet, 2006). Sedangkan untuk estimasi amplifikasi dipengaruhi oleh sumber, walaupun pengaruhnya sangat kecil (Nakamura, 2008).

Metode HVSR merupakan metode membandingkan spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari gelombang mikrotremor. Mikrotremor terdiri dari ragam dasar gelombang Rayleigh, diduga bahwa periode puncak perbandingan H/V mikrotremor memberikan dasar dari periode gelombang S. Perbandingan H/V pada mikrotremor adalah perbandingan kedua komponen yang secara teoritis menghasilkan suatu nilai. Nakamura (1989) mengusulkan metode HVSR untuk mengestimasi frekuensi natural dan amplifikasi geologi setempat dari data mikrotremor. Perkembangan selanjutnya, metode ini mampu untuk mengestimasi indeks kerentanan tanah (Nakamura, 1997), indeks kerentanan bangunan (Sato dkk, 2008; Triwulan dkk, 2010) dan interaksi antara tanah dan bangunan (Gallipoli dkk, 2004; Triwulan dkk, 2010). Metode ini berhasil untuk melokalisasi daerah yang rawan kerusakan bangunan akibat efek lokal (Panou et al., 2005), likuifaksi (Huang dan Tseng,

2002), interaksi antara bangunan dan tanah (Mucciarelli dkk, 2004), dan kekuatan bangunan (Nakamura dkk, 2000).

Parameter penting yang dihasilkan dari metode HVSR adalah frekuensi natural dan amplifikasi. HVSR yang terukur pada tanah yang bertujuan untuk karakterisasi geologi setempat, frekuensi natural dan amplifikasi berkaitan dengan parameter fisik bawah permukaan (Herak, 2008). Faktor amplifikasi memberikan gambaran tentang perubahan (pembesaran) percepatan gerakan tanah dari batuan dasar ke permukaan. Pembesaran percepatan tanah dari batuan dasar ke permukaan disebabkan karena perbedaan kecepatan gerakan gelombang geser (V_s) di batuan dasar dan pada lapisan tanah (sedimen). Nilai V_s dari batuan dasar ke permukaan akan makin mengecil. Nilai V_s yang makin mengecil menyebabkan makin kecilnya nilai modulus geser dan faktor redaman, sehingga percepatan tanah akan makin membesar. Semakin besar nilai faktor amplifikasi maka semakin besar pula percepatan gerakan tanah di permukaan (Partono dkk, 2013). Sedangkan HVSR yang terukur pada bangunan berkaitan dengan kekuatan bangunan (Nakamura dkk, 2000) dan keseimbangan bangunan (Gosar dkk, 2010).

2.6 Amplifikasi (A_0)

Amplifikasi gempa bumi adalah perbandingan percepatan maksimum gempa bumi di permukaan tanah dengan batuan dasar. Frekuensi dan amplitudo gelombang gempa bumi yang menjalar dari batuan dasar ke permukaan bumi akan berubah saat melewati endapan tanah. Proses ini dapat menghasilkan percepatan yang besar terhadap struktur dan menimbulkan kerusakan yang parah, terutama saat frekuensi gelombang seismik sama dengan resonansi frekuensi struktur bangunan buatan manusia (Bard, 1999).

Terdapat dua sebab terjadinya amplifikasi gelombang gempa yang dapat mengakibatkan kerusakan bangunan. Pertama, adanya gelombang yang terjebak di lapisan lunak, sehingga gelombang tersebut mengalami superposisi antar gelombang. Jika gelombang tersebut mempunyai frekuensi yang relatif sama, maka terjadi proses resonansi gelombang gempa. Akibat proses resonansi ini, gelombang tersebut saling menguatkan. Kedua, adanya kesamaan frekuensi natural antara geologi setempat dengan bangunan yang akan mengakibatkan resonansi antara bangunan dan tanah setempat. Akibatnya, getaran tanah pada bangunan lebih kuat. Berdasarkan pengertian tersebut, maka amplifikasi dapat dituliskan sebagai suatu fungsi perbandingan nilai kontras impedansi pada **persamaan 3**.

$$A_0 = \left\{ \frac{(\rho_b \cdot v_b)}{(\rho_s \cdot v_s)} \right\} \quad (3)$$

Keterangan :

ρ_b : Densitas batuan dasar (gr/mL)

ρ_s : Rapat massa dari batuan lunak (gr/mL)

v_b : Kecepatan rambat gelombang di batuan dasar (m/s)

v_s : Kecepatan rambat gelombang di batuan lunak (m/s)

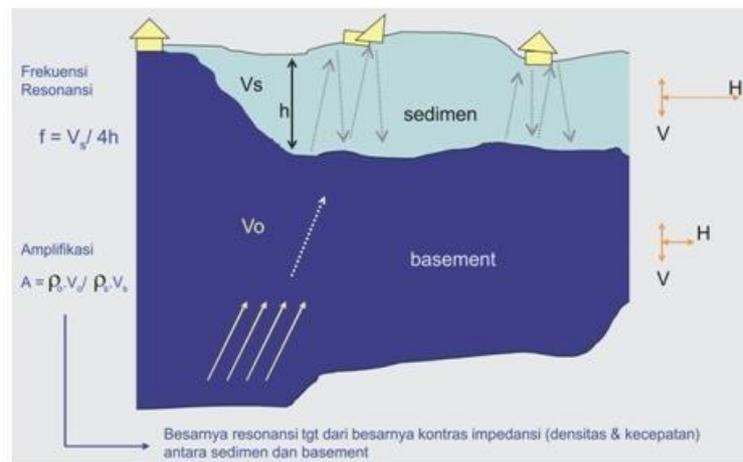
Nilai amplifikasi tinggi menunjukkan kontras impedensi yang tinggi, yang artinya densitas (ρ) antar lapisan sangat berbeda. Dalam analisa resiko gempa bumi, kontras impedensi tinggi mengakibatkan risiko yang tinggi apabila terjadi gempa bumi. Nilai amplifikasi dipengaruhi oleh kecepatan gelombang. Apabila kecepatan gelombang semakin kecil maka amplifikasi semakin besar, dimana menunjukkan bahwa amplifikasi berhubungan dengan tingkat kepadatan batuan. Berkurangnya kepadatan batuan dapat meningkatkan nilai amplifikasi karena pada batuan yang kurang padat (sedimen lunak) akan memperlama durasi gelombang yang menjalar di lokasi tersebut dan memperbesar amplitudo gelombangnya, sehingga terjadi guncangan terhadap bangunan di atas permukaan. Hal ini yang dapat menyebabkan tingkat potensi resiko bencana gempa bumi semakin besar. Nilai amplifikasi menurun pada batuan yang kurang padat karena amplitudo gelombang yang menjalar di batuan padat relatif kecil (Nakamura, 2000). Klasifikasi faktor amplifikasi menurut Satiawan, 2009 dibagi ke dalam 4 zona seperti yang disajikan pada **Tabel 1** berikut :

Tabel 1. Klasifikasi nilai faktor amplifikasi (Setiawan, 2009)

Zona	Klasifikasi	Nilai faktor amplifikasi
1	Rendah	$A < 3$
2	Sedang	$3 \leq A < 6$
3	Tinggi	$6 \leq A < 9$
4	Sangat Tinggi	$A \geq 9$

Faktor amplifikasi memberikan gambaran tentang perubahan (pembesaran) percepatan gerakan tanah dari batuan dasar ke permukaan. Pembesaran percepatan tanah dari batuan dasar ke permukaan disebabkan karena perbedaan kecepatan gerakan gelombang geser (V_s) di batuan dasar dan pada lapisan tanah (sedimen). Nilai V_s dari batuan dasar ke permukaan akan mengecil. Nilai V_s yang makin mengecil menyebabkan kecilnya nilai modulus geser dan faktor redaman, sehingga percepatan tanah

akan makin membesar. Semakin besar nilai faktor amplifikasi maka semakin besar pula percepatan gerakan tanah di permukaan (Partono dkk, 2013). Adapun konsep dasar amplifikasi gelombang seismic dapat dilihat pada **Gambar 7** dibawah ini.



Gambar 7. Konsep dasar amplifikasi gelombang seismic (Cipta, 2009)

2.7 Indeks Kerentanan (Kg)

Salah satu parameter yang dinilai dalam pengukuran mikroseismik pada mikrozonasi gempa adalah indeks kerentanan tanah (Kg). Nakamura (1989) menyatakan, Indeks Kerentanan (Kg) suatu wilayah mengidentifikasi tingkat kerentanan suatu lapisan tanah yang mengalami deformasi akibat gempa bumi. Nilai kerentanan (Kg) dapat dicari dengan persamaan:

$$Kg = \frac{f_0}{A_0}$$

dengan A_0 dan f_0 adalah amplitudo (faktor amplifikasi) dan frekuensi natural. Nilai Kg yang tinggi umumnya ditemukan pada tanah dengan litologi batuan sedimen yang lunak. Nilai yang tinggi tersebut mendeskripsikan bahwa daerah tersebut rentan terhadap gempa. Sebaliknya, nilai Kg yang kecil umumnya ditemukan pada tanah dengan batuan penyusun yang kuat dan stabil sehingga saat terjadi gempa, daerah tersebut hanya mengalami guncangan yang kecil.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Kelurahan Kampung Laut, Kabupaten Tanjung Jabung Timur dengan rincian kegiatan selama empat bulan dimulai dari bulan Oktober 2021 – Januari 2022 terdapat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Rincian Kegiatan Penelitian

Agenda Kegiatan	Oktober				November				Desember				Januari			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Studi Literatur	■															
Akuisisi Data									■							
Pengolahan dan Interpretasi Data									■							
Penyusunan Skripsi	■															

3.2 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini sebagai berikut dan dapat pula dilihat pada **Gambar 8**:

1. Seismograf MAE A6000S, digunakan untuk merekam getaran tanah di setiap titik survei.
2. Seismometer, digunakan untuk merekam getaran tanah di daerah survei.
3. Kabel penghubung, digunakan untuk menghubungkan antara seismograf dengan sensor mikrotremor.
4. Battery 12V, digunakan sebagai sumber daya.
5. Global Positioning System (GPS), digunakan untuk menentukan posisi pada setiap titik survei.
6. Kompas, digunakan untuk menentukan arah utara sensor.
7. Log Book, digunakan sebagai catatan kondisi lingkungan saat melakukan pengambilan data.
8. Kamera, digunakan untuk membuat dokumentasi kegiatan penelitian.
9. Laptop, digunakan untuk mengolah data mikrotremor.



Gambar 8. Seismograf MAE A6000S dan Perangkat Alat Mikrotremor

3.3 Software Penelitian

Adapun software yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Software Microsoft Excel, digunakan untuk menghitung nilai kerentanan seismik, percepatan tanah maksimum, dan ketebalan lapisan sedimen.
2. Software ArcGis, digunakan untuk membuat peta daerah penelitian.
3. Software Geopsy, berfungsi untuk pemilihan sinyal mikrotremor dan mendapatkan nilai frekuensi alami dan amplifikasi.

3.4 Data Penelitian

Adapun data yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu data sekunder dan data primer.

Data Sekunder

1. Peta Geologi daerah penelitian, digunakan sebagai informasi geologi daerah penelitian yang meliputi formasi, litologi serta struktur geologi.
2. Peta Administrasi daerah penelitian, digunakan untuk memperkirakan kondisi lokasi penelitian dan menentukan titik pengambilan data.

Data Primer

Data berupa grafik kurva HVSR, yang terdapat nilai frekuensi dominan (f_g) dan puncak kurva HVSR (faktor amplifikasi tanah, A_g).

3.5 Tahapan Penelitian

Kegiatan penelitian ini dilakukan dengan mengikuti tahapan penelitian sebagai berikut :

Persiapan

Persiapan yang dilakukan berupa studi kepustakaan dan pengumpulan data sebelum penelitian. Kegiatan studi kepustakaan untuk memperoleh dan

mengumpulkan informasi umum mengenai zona amblesan dan kerentanan bangunan serta informasi mengenai daerah penelitian, luasan daerah penelitian, jenis batuan penyusun dan peta geologi.

Survei Awal

Survei awal berupa observasi lapangan dengan pengamatan secara langsung di lapangan mengenai masalah yang di alami di Desa Kampung Laut, Tanjung Jabung Timur, geologi daerah penelitan dan titik pengukuran. Sehingga dari kegiatan survei awal tersebut akan didapatkan gambaran desain sementara daerah penelitian.

Akuisisi

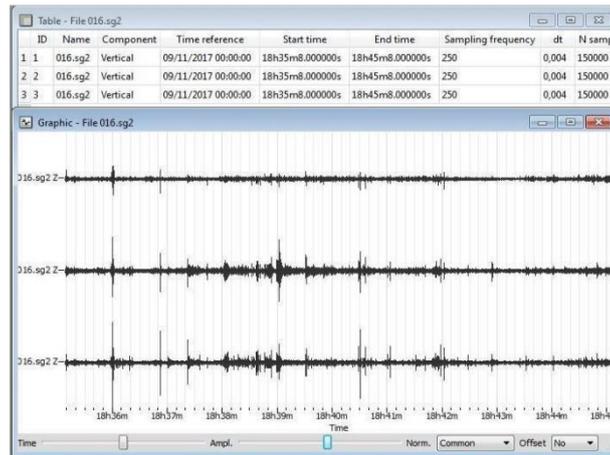
Akuisisi data dilakukan dengan menggunakan seismograf 3 komponen MAE 6000. Akuisisi data mikrotremor di lapangan di setiap titik yang dihasilkan dari desain pengukuran. Adapun titik pengukuran mikrotremor pada lokasi penelitian berjumlah 19 titik dengan jarak antar titik ± 500 meter.

Pengolahan Data

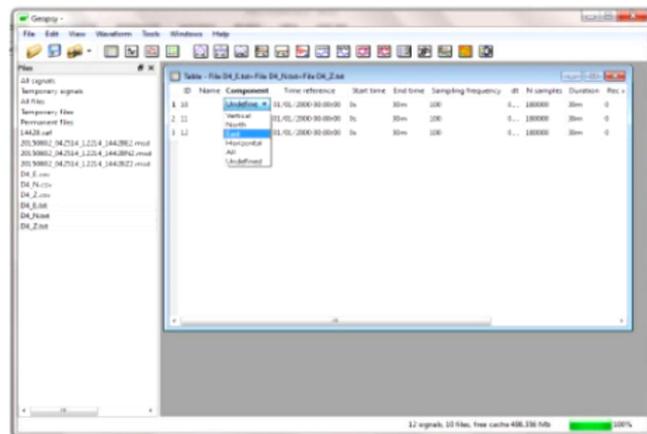
Data mikrotremor yang diperoleh berupa kecepatan getaran bangunan yang dinyatakan dalam domain waktu. Data tersebut diolah dengan menggunakan software Geopsy.Tool dalam Geopsy ini digunakan untuk mendapatkan rasio spektrum horizontal terhadap vertikal (H/V) dari semua jenis sinyal getaran (ambient noise, gempabumi dan lain-lain).

Langkah-langkah pengolahan data dengan menggunakan geopsy adalah sebagai berikut :

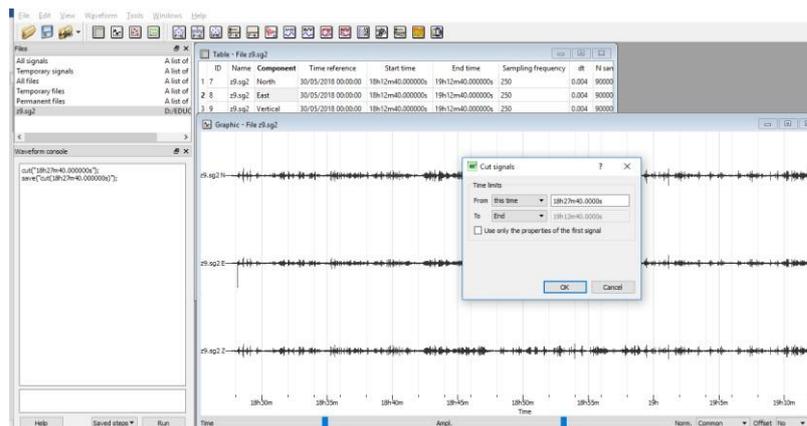
1. Data .txt atau .sg2 di *import* ke *Software Geopsy*.
2. Data dalam format .sg2 maka akan mendapatkan tampilan seperti (Gambar 10).
3. Nama komponen dan frekuensi sampling tiap data diubah seperti (Gambar 11).
4. Dilakukan pemotongan sinyal 5 menit pertama yang dianggap *noise* (Gambar 12).
5. Lakukan analisis spektral H/V (Gambar 13)
6. Untuk pemilihan otomatis pilih menu *auto* pada tab *windowing*. Jumlah *window* terpilih akan tampak pada tab *windowing*.
7. Untuk parameter pada *windowing* bisa disesuaikan dengan kebutuhan.
8. Pada H/V *toolbox*, tab *processing* berguna untuk menentukan proses pengolahan yang kita butuhkan (Gambar 14).



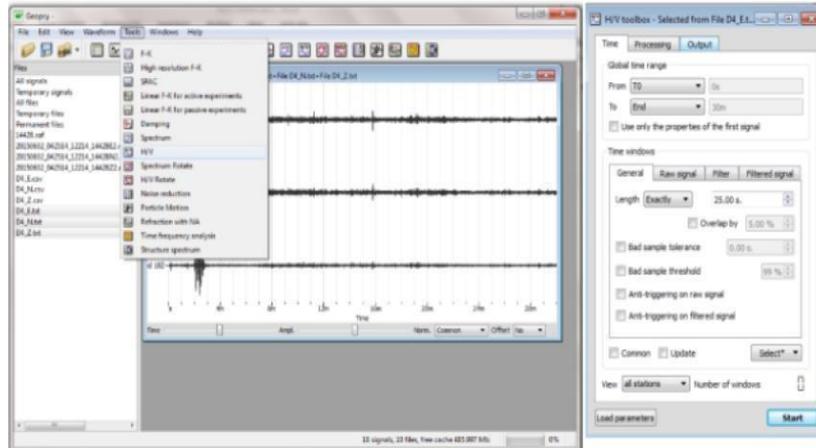
Gambar 9.Tampilan Data Hasil Rekaman Format .sg2



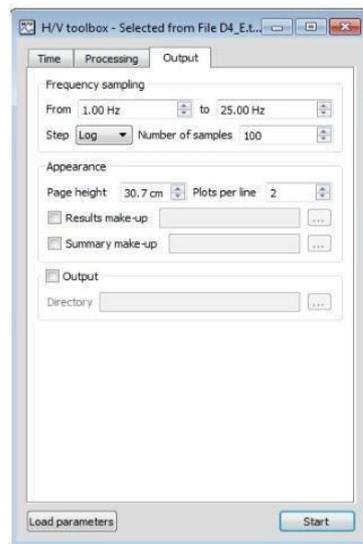
Gambar 10.Contoh Perubahan Nama Komponen



Gambar 11.Tampilan Jendela *Subtract Value*

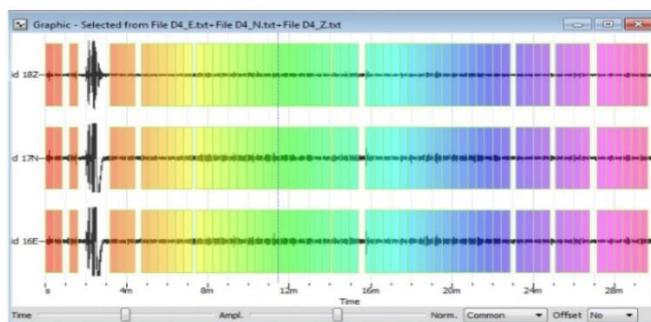


Gambar 12.Tampilan Analisis H/V

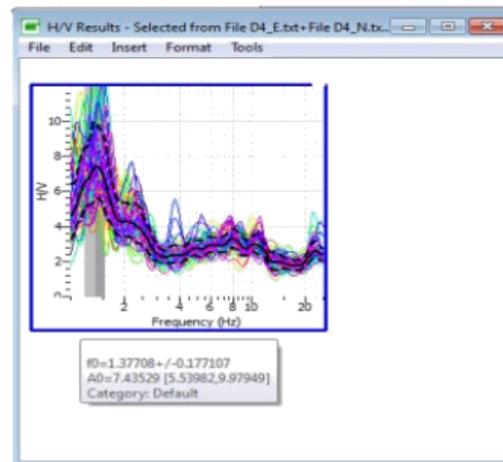


Gambar 13.Penentuan Parameter H/V

9. Setelah semua proses pemilihan *window* (Gambar 15) dan pengaturan parameter selesai, klik tombol *start* untuk memproses data dengan metode HVSR.



Gambar 14.Tampilan Hasil Windowing



Gambar 15. Hasil Kurva H/V

10. Gambar 15 merupakan hasil pengolahan HVSR, kemudian dapat ditentukan peak pada grafik H/V hingga diperoleh nilai A_0 dan f_0 . Berdasarkan nilai f_0 dan A_0 , maka dapat dihitung parameter mikrozonasi.

Parameter tersebut digunakan untuk menghitung indeks kerentanan (K) bangunan. Selanjutnya dilakukan pembuatan peta sajian nilai frekuensi natural (f_0), rasio redam ($z\%$), dan indeks kerentanan (K) menggunakan perangkat lunak ArcGis.

Interpretasi Data

Interpretasi dalam identifikasi terbagi menjadi dua yaitu interpretasi secara kualitatif dan kuantitatif.

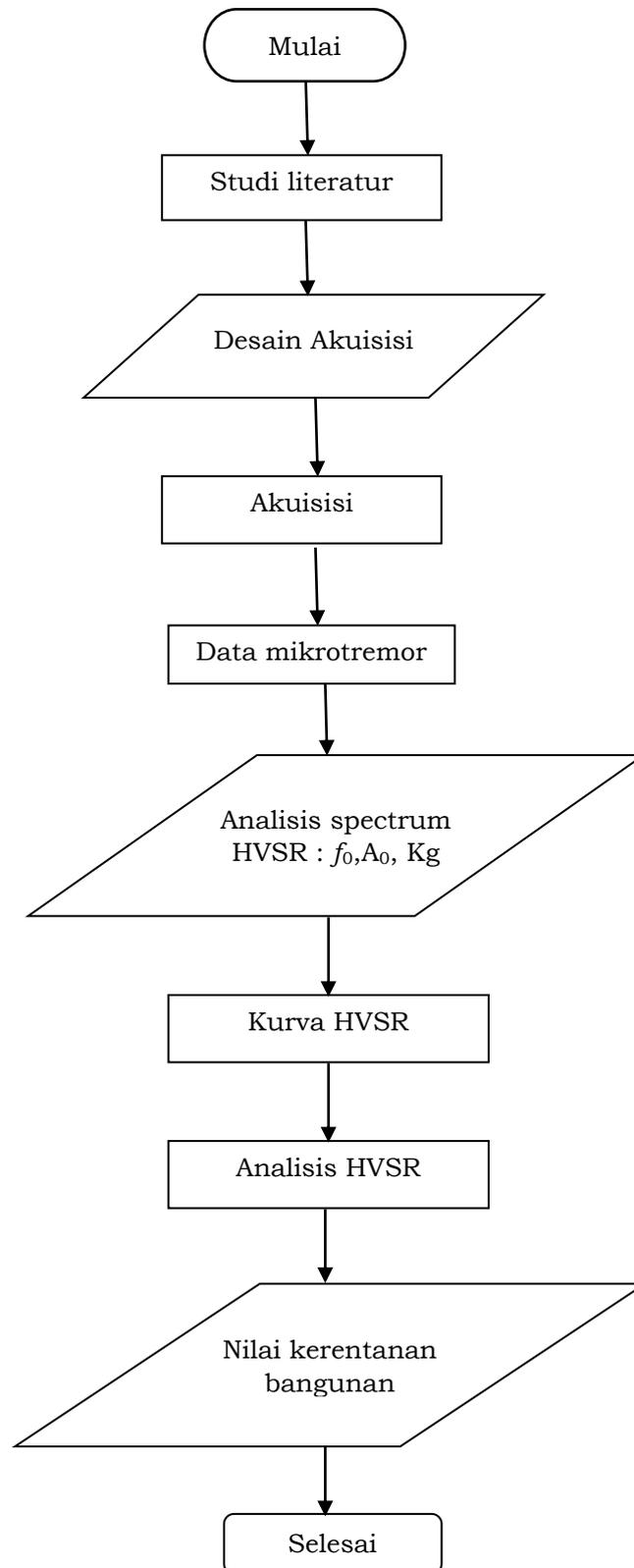
Interpretasi Kualitatif

Adalah data mikroseismik menggunakan metode HVSR berdasarkan bentuk kurva H/V.

Interpretasi Kuantitatif

Adalah yang dapat dilakukan berdasarkan nilai parameter mikrotremor. Parameter tersebut yaitu amplifikasi (A_0), frekuensi Natural (f_0), indeks kerentanan seismik (K_g), A_g dan ketebalan lapisan sedimen (h).

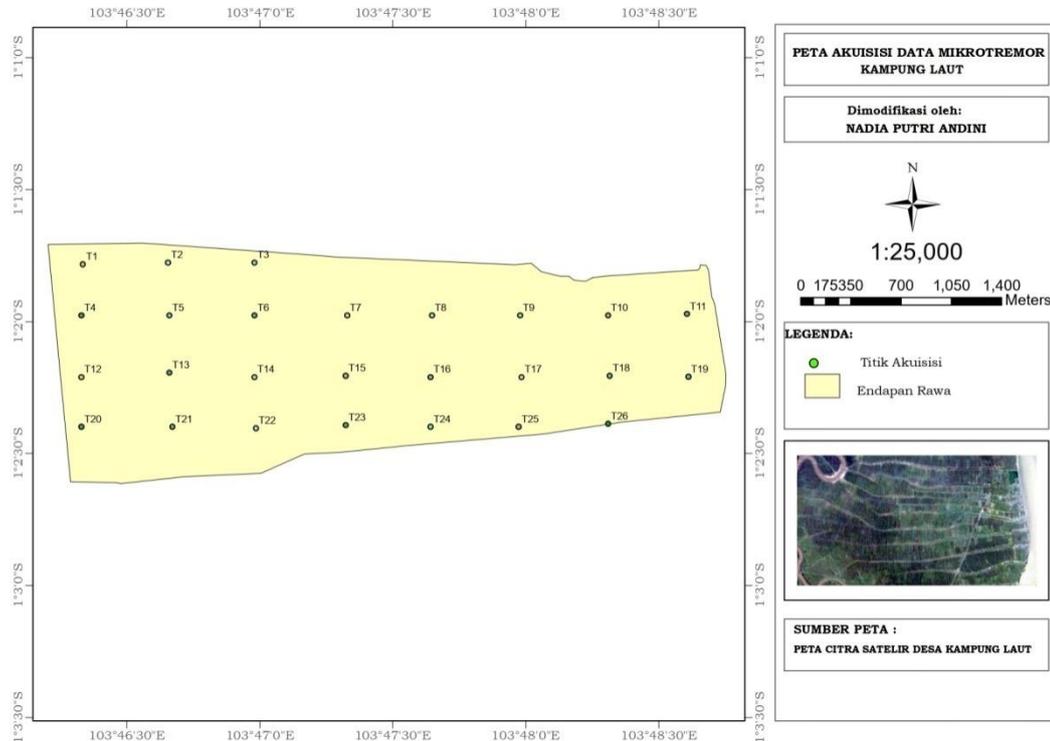
3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 16. Diagram Alir Penelitian

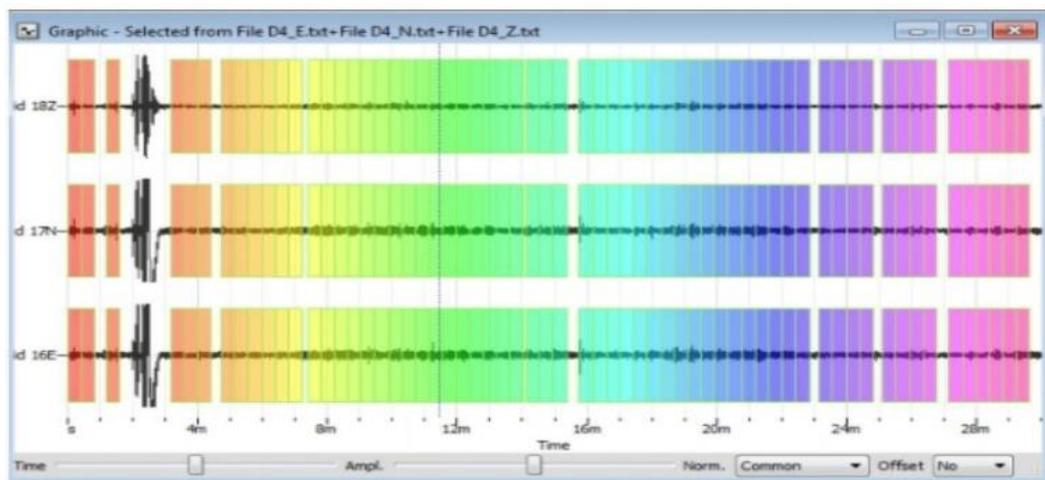
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data mikrotremor dilakukan di Kelurahan Kampung Laut, Kabupaten Tanjung Jabung Timur Provinsi Jambi selama lima hari. Pada peta akuisisi (**Gambar 17**) data yang diperoleh dari hasil pengukuran ada sebanyak 26 titik dengan rentang jarak antar titik yaitu sekitar ± 350 meter dan dengan luas daerah penelitian 120,52 Km². Hasil pengukuran di titik-titik ukur berupa data rekaman mikrotremor dalam interval waktu (durasi) tertentu, dalam pengukuran ini durasi perekaman selama 45 menit di setiap titik. Data ini tercatat dalam 3 komponen, yaitu komponen Vertikal (*Up-Down*), Utara-Selatan (*North-South*) dan Barat-Timur (*East-West*). Data ini kemudian diolah dengan menggunakan *software geopsy* dan didapatkan hasil berupa kurva H/V yang mempresentasikan nilai amplitudo terhadap frekuensi. Kurva tersebut dapat mempresentasikan suatu puncak spektrum pada frekuensi dominan. Kurva H/V tersebut menampilkan nilai frekuensi natural (f_0), amplifikasi (A_0) dan standar deviasi (σ), kemudian dilakukan perhitungan menggunakan *microsoft excell* untuk mendapatkan nilai kerentanan seismik (kg). Selanjutnya keseluruhan parameter tersebut diplot kedalam peta dan kemudian dibandingkan dengan geologi regional daerah penelitian.



Gambar 17. Peta Akuisisi Data Penelitian

Tahapan awal yang dilakukan untuk mendapatkan kurva H/V adalah melakukan proses *windowing* pada rekaman mikrotremor. *Windowing* adalah terbaginya seismogram mikrotremor menjadi beberapa jendela (*window*) berupa kotak-kotak berwarna yang bertujuan untuk memilih data atau untuk menghilangkan *noise* (gangguan) yang terekam serta dipilih sinyal yang paling stasioner. Satu warna mewakili satu *window* dengan lebar kotak yang tertentu (lebar kotak dalam satuan waktu). Contoh *windowing* seperti ditunjukkan **Gambar 18**. Satu *window* membentuk satu kurva HVSR, sehingga jumlah kurva HVSR yang terbentuk sejumlah *window* yang ada dalam satu rekaman mikrotremor. Jumlah *window* tergantung dari sinyal yang masuk dalam kategori data dan terhindar dari *noise*. Jumlah data dalam suatu rekaman mikrotremor tidak sama banyak, tergantung kualitas rekaman dan *noise* yang masuk. Semakin bagus sinyal, maka semakin banyak *window* yang terbentuk. Setelah proses penjendelaan waktu (*windowing*) selesai maka ketiga komponen sinyal yang terdiri atas komponen Vertikal (*Up-Down*), Utara-Selatan (*North-South*) dan Barat-Timur (*East-West*) akan di analisis menggunakan HVSR, dimana setelah analisa HVSR ini akan diperoleh nilai frekuensi natural (f_0) dan amplifikasi (A_0).

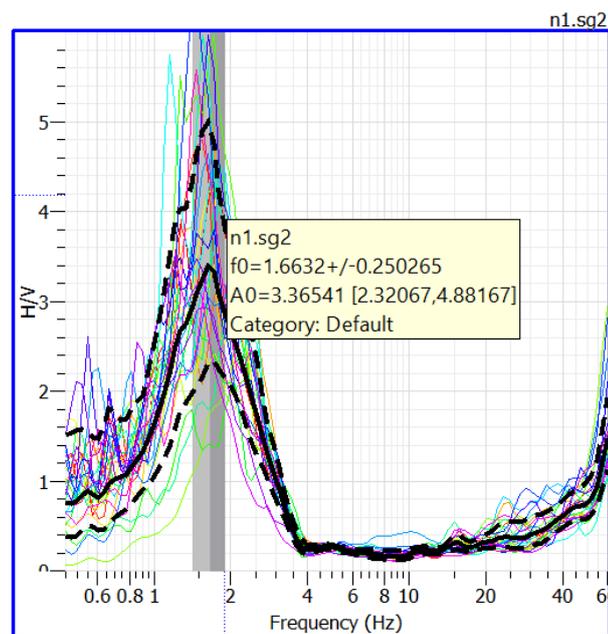


Gambar 18. Proses Windowing Data

Kurva HVSR yang terbentuk dari hasil *windowing* ditampilkan dari semua *window* sesuai dengan warna *window* (kotaknya). Pada kurva tersebut garis horisontal menunjukkan nilai frekuensi dan garis vertikal menunjukkan nilai H/V, terdapat juga garis spektrum warna yang merupakan sinyal-sinyal yang dicuplik pada proses *windowing*. Garis hitam tebal pada kurva menunjukkan nilai rata-rata HVSR titik pengukuran. Sedangkan garis hitam

putus-putus menunjukkan nilai amplifikasi minimum-maksimum dan nilai standar deviasi frekuensinya (Azmitati et al, 2018).

Gambar 19 menunjukkan hasil analisa HVSR pada daerah penelitian di titik 1. Dapat diketahui nilai frekuensi dominan (f_0) yaitu 1,66 Hz, nilai amplifikasi (A_0) yaitu 3,36 dan nilai standar deviasi (σ) yaitu 0,25. Frekuensi dominan (f_0) dan amplifikasi (A_0) yang dihasilkan dari kurva HVSR tersebut merupakan parameter yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik dinamis lapisan tanah permukaan.



Gambar 19. Kurva Hasil Analisis HVSR pada titik 1

4.1 Frekuensi Natural (f_0)

Frekuensi natural mempresentasikan banyaknya gelombang yang terjadi dalam satuan waktu. Frekuensi natural dipengaruhi oleh besarnya kecepatan rata-rata dan ketebalan sedimen bawah permukaan. Menurut Mucciarelli dkk (2019), frekuensi natural berbanding terbalik dengan ketebalan sedimen (*bedrock*) dan berbanding lurus dengan kecepatan rata-rata. Nilai frekuensi natural suatu daerah dipengaruhi oleh ketebalan lapisan lapuk (h) dan kecepatan bawah permukaan (V_s). Sehingga pada daerah yang memiliki lapisan sedimen yang lebih tebal akan cenderung memiliki nilai frekuensi natural yang semakin kecil. Jika suatu daerah mengalami guncangan atau gempa bumi yang memiliki nilai frekuensi yang sama atau mendekati nilai frekuensi natural pada daerah tersebut, maka akan terjadi resonansi antara tanah dan bangunan dengan gelombang seismik mengalami penguatan sehingga akan menimbulkan kerusakan yang parah pada daerah tersebut. Nilai frekuensi natural diperoleh

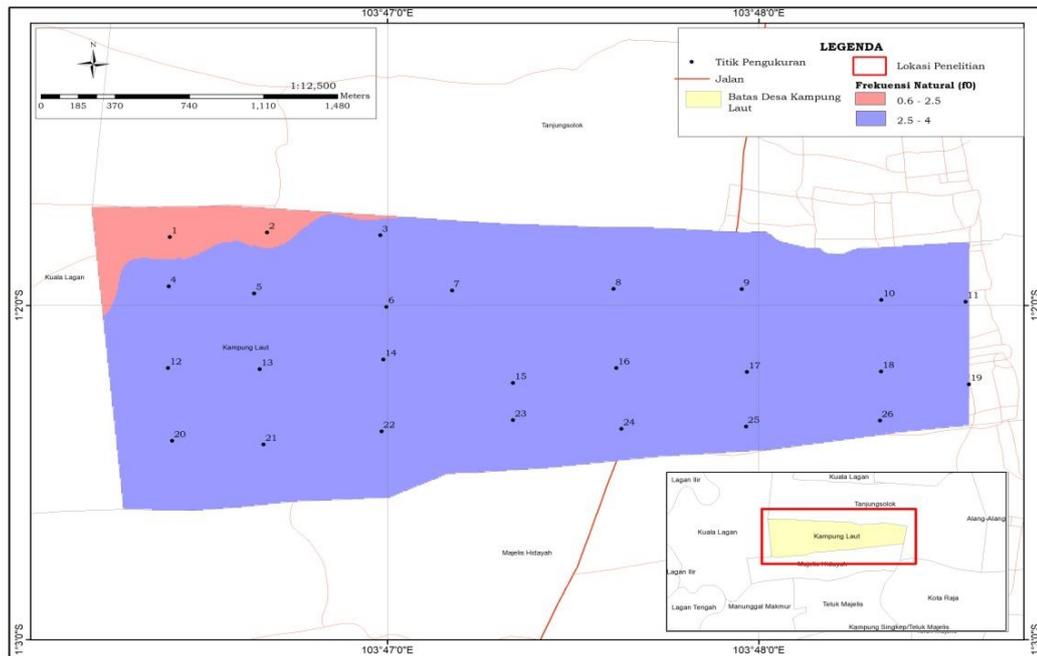
dari puncak kurva H/V. Adapun nilai frekuensi natural yang diperoleh diklasifikasikan berdasarkan klasifikasi oleh Kanai sebagai berikut :

Tabel 3. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan Mikrotremor (Kanai, 1983)

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

Frekuensi natural merupakan frekuensi yang sering terlihat dimana frekuensi tersebut mengartikan jenis dan karakteristik lapisan batuan di daerah tersebut (Bessi et al, 2018). Frekuensi natural adalah frekuensi resonansi pada permukaan lapisan sedimen saat amplifikasi mencapai nilai maksimumnya

(Prabowo et al, 2021). Berdasarkan pengolahan nilai frekuensi natural di kawasan daerah penelitian berkisar antara 1,30-2,89 Hz. Peta nilai distribusi frekuensi natural ditunjukkan pada **Gambar 20**.



Nilai frekuensi natural dari hasil pengukuran diklasifikasikan menjadi 2 jenis tanah, yaitu tanah jenis III dan IV. Menurut klasifikasi Kanai tanah jenis IV memiliki frekuensi <2,5 Hz dengan klasifikasi batuan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dan lain-lain dengan kedalaman 30 meter atau lebih dengan ketebalan sedimen permukaannya sangat tebal.

Nilai frekuensi jenis III pada penelitian ini memiliki rentang nilai 2,70 - 2,89 Hz. Menurut klasifikasi Kanai tanah jenis III memiliki nilai frekuensi 2,5 - 4 Hz terdiri dari batuan alluvial dengan ketebalan >5 m, terdiri dari *sandy-gravel*, *sandy hard clay*, *loam*, dll. Mengindikasikan Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori tebal, sekitar 10 hingga 30 meter. Nilai frekuensi jenis ini mendominasi daerah penelitian yang ditunjukkan pada **Gambar 20** tersebar pada daerah penelitian dengan indeks warna ungu. Nilai frekuensi yang tinggi menunjukkan bahwa struktur bawah permukaan merupakan lapisan batuan yang keras. Sedangkan nilai frekuensi yang rendah menunjukkan bahwa struktur bawah permukaan merupakan lapisan yang lunak. Struktur batuan bawah permukaan yang keras memiliki tingkat kerusakan yang lebih rendah dibandingkan struktur bawah permukaan yang tersusun dari batuan lunak (Muttaqin, 2022).

Frekuensi natural erat kaitannya dengan geologi daerah penelitian. Daerah penelitian memiliki frekuensi rendah. Frekuensi rendah menunjukkan

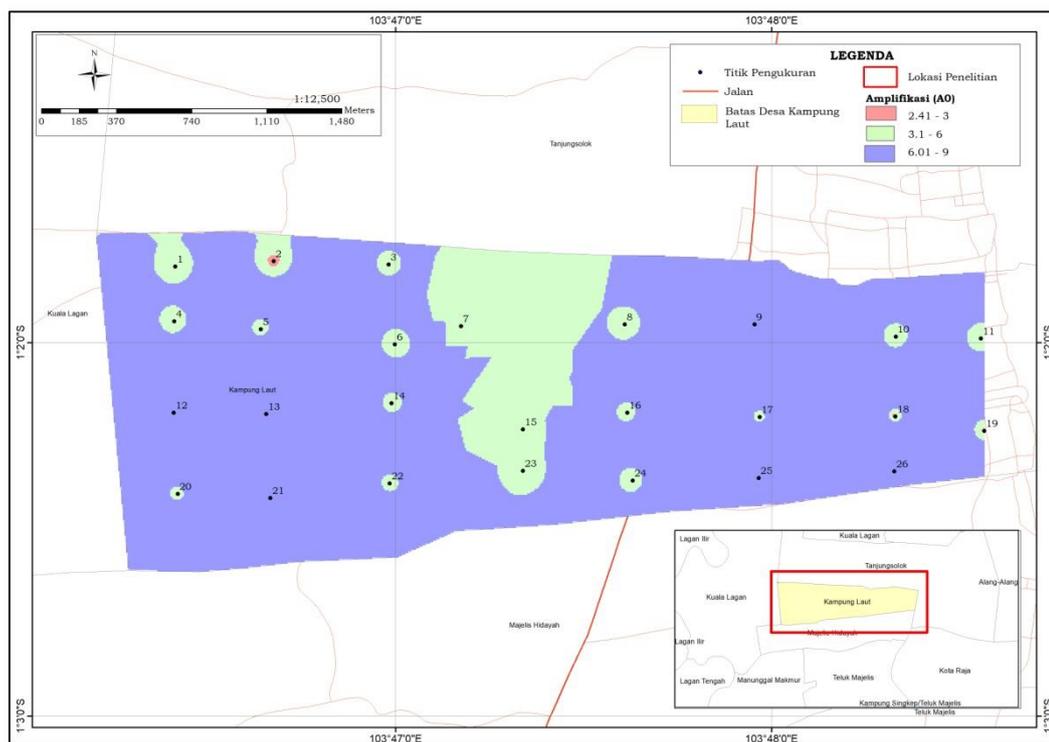
daerah yang tersusun dari batuan lunak dan memiliki ketebalan sedimen yang tebal. Hal ini sesuai dengan informasi geologi yang menjelaskan bahwa daerah penelitian berada pada formasi Qs atau satuan endapan rawa. Satuan batuan ini terdiri atas pasir, lanau, lempung, lumpur dan gambut. Endapan rawa merupakan endapan yang mendominasi daerah penyelidikan. Endapan ini terdiri dari material sisa-sisa tumbuhan (gambut) dan material lepas yang berukuran lempung dan pasir serta diperkirakan berumur Holosen.

4.2 Amplifikasi (A₀)

Amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan densitas yang signifikan antar lapisan. Amplifikasi terjadi apabila gelombang seismik merambat pada suatu medium yang lebih lunak dibandingkan medium sebelumnya. Semakin lunak lapisan batuan maka nilai amplifikasi yang diperoleh akan semakin besar, sebaliknya semakin keras lapisan batuan nilai amplifikasi yang diperoleh akan semakin kecil. Faktor amplifikasi juga dipengaruhi oleh kecepatan gelombang, apabila kecepatan gelombang semakin kecil maka faktor amplifikasi semakin besar. Hal ini disebabkan oleh sedimen lunak yang memperlambat durasi gelombang yang menjalar di daerah tersebut. Menurut Nakamura (2000) nilai faktor amplifikasi suatu tempat dapat diketahui dari tinggi puncak spektrum amplitudo HVSR hasil pengukuran mikrotremor di tempat tersebut.

Zona	Klasifikasi	Nilai Faktor Amplifikasi
1	Rendah	$A < 3$
2	Sedang	$3 \leq A < 6$
3	Tinggi	$6 \leq A < 9$

Berdasarkan hasil penelitian, nilai faktor amplifikasi daerah penelitian berkisar antara 2,40 – 8,35. Terdapat tiga zona pada daerah penelitian tersebut yaitu zona 1 dengan kategori rendah memiliki nilai amplifikasi dengan rentang nilai 2,41 – 3. Nilai amplifikasi rendah mengindikasikan daerah yang tersusun atas batuan yang kompak. Zona dua dengan kategori sedang memiliki nilai amplifikasi dengan rentang nilai 3,1 – 6. Nilai amplifikasi sedang mengindikasikan daerah yang tersusun atas batuan yang lunak. Zona ketiga dengan kategori rentang nilai 6,01 – 9. Nilai amplifikasi tinggi mengindikasikan daerah yang tersusun atas batuan yang lebih lunak



Gambar 20. Peta Sebaran Nilai Amplifikasi Daerah Penelitian

Berdasarkan peta persebaran faktor amplifikasi daerah yang memiliki nilai amplifikasi rendah zona 1 tersebar di beberapa titik yaitu pada titik 2 dengan indeks warna merah muda. Daerah dengan nilai amplifikasi yang rendah diasumsikan apabila terjadi peristiwa guncangan atau gerakan tanah, dampak kerusakan dan bahaya yang ditimbulkan pada infrastruktur maupun kawasan pemukiman penduduk tidak terlalu signifikan seperti pada nilai amplifikasi yang tinggi (Dialosa dkk, 2018).

Zona dua yang termasuk kategori amplifikasi sedang, jika dilihat pada **Gambar 21** merupakan nilai amplifikasi yang cukup banyak tersebar pada daerah penelitian ditandai dengan indeks warna hijau dengan rentang nilai 3.1 – 6. Titik pengukuran berada pada area tanah yang diduga memiliki ketebalan sedimen yang cukup tebal, diasumsikan daerah yang memiliki nilai amplifikasi sedang apabila terjadi pergerakan tanah akan menimbulkan kerusakan pada bangunan namun tidak separah pada daerah yang memiliki nilai amplifikasi tinggi.

Zona tiga merupakan zona dengan nilai amplifikasi tinggi jika dilihat pada **Gambar 21** merupakan nilai amplifikasi yang mendominasi daerah penelitian yang ditunjukkan dengan indeks warna ungu dengan rentang nilai 6,01 – 9. Zona yang memiliki nilai amplifikasi tinggi ini memiliki tingkat kerusakan yang tinggi pula apabila terjadi penguatan gelombang gempa yang

besar pada zona tersebut akibat komposisi lapisan batuan yang sangat lunak yang akan memperlambat laju kecepatan gelombang.

Secara keseluruhan, hampir semua wilayah di daerah penelitian termasuk kedalam zona dengan tingkat amplifikasi sedang hingga tinggi. Jika ditinjau dari peta geologi regional daerah penelitian berada pada formasi endapan rawa yang material penyusunnya terdiri dari atas pasir, lanau, lempung, lumpur, dan gambut. Selain itu, daerah penelitian merupakan daerah gambut yang mana tanah gambut sendiri merupakan tanah dengan angka pori yang besar. Porositas dapat mempengaruhi kecepatan gelombang seismik. Semakin besar porositas suatu batuan maka semakin kecil densitas batuan sehingga menyebabkan gelombang seismik merambat dengan lebih lambat. Semakin rendah kecepatan gelombang maka semakin besar nilai amplifikasi yang dihasilkan. Itulah, mengapa daerah penelitian memiliki nilai amplifikasi sedang hingga tinggi dikarenakan daerah penelitian berada pada daerah gambut yang memiliki angka porositas yang tinggi.

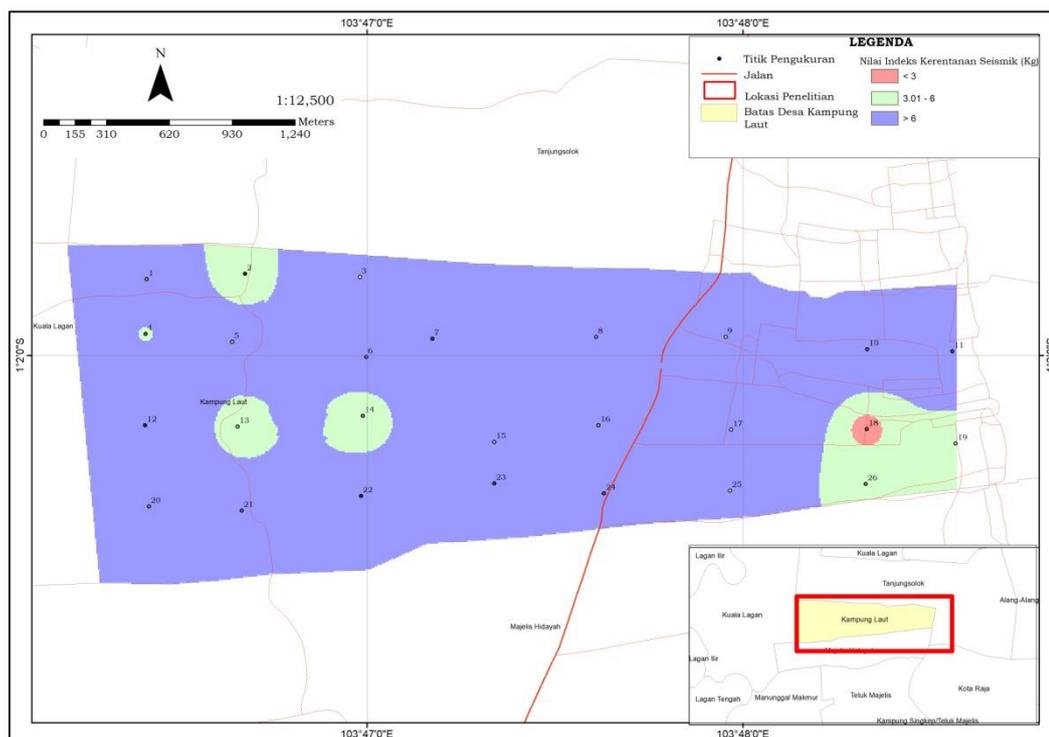
4.3 Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Salah satu parameter yang dinilai dalam pengukuran mikroseismik pada mikrozonasi gempa adalah indeks kerentanan tanah (Kg). Nakamura (1989) menyatakan, Indeks Kerentanan (Kg) suatu wilayah mengidentifikasi tingkat kerentanan suatu lapisan tanah yang mengalami deformasi akibat gempa bumi. Nilai kerentanan (Kg) dapat dicari dengan persamaan:

$$Kg = \frac{A_0^2}{f_0}$$

dengan A_0 dan f_0 adalah amplitudo (faktor amplifikasi) dan frekuensi natural. Nilai Kg yang tinggi umumnya ditemukan pada tanah dengan litologi batuan sedimen yang lunak. Nilai yang tinggi tersebut mendeskripsikan bahwa daerah tersebut rentan terhadap gempa. Sebaliknya, nilai Kg yang kecil umumnya ditemukan pada tanah dengan batuan penyusun yang kuat dan stabil sehingga saat terjadi gempa, daerah tersebut hanya mengalami guncangan yang kecil. Adapun nilai indeks kerentanan seismik (Kg) diklasifikasikan berdasarkan klasifikasi oleh (Refrizon, 2013).

Zona	Nilai Kg
Rendah	< 3
Sedang	3 < Kg < 6
Tinggi	> 6



Gambar 21. Peta Sebaran Nilai Indeks Kerentanan Seismik (kg)

Berdasarkan hasil penelitian nilai indeks kerentanan seismik (Kg) yang diperoleh berkisar antara 2.10 – 52.8. Terdapat tiga zona pada daerah penelitian yaitu zona rendah dengan nilai < 3 , zona sedang dengan nilai Kg 3 – 6 dan zona tinggi dengan nilai Kg > 6 . Menurut (Satiria A, dkk 2020) zona rendah mengindikasikan daerah yang aman dengan pergerakan muka tanah yang relatif kecil, zona indeks kerentanan seismik sedang mengindikasikan daerah yang aman dan getaran hanya dirasakan beberapa orang, sedangkan zona tinggi mengindikasikan daerah yang rentan mengalami pergerakan muka tanah yang dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan.

Berdasarkan peta sebaran nilai indeks kerentanan seismik, secara umum daerah penelitian didominasi oleh zona dengan tingkat kerawanan yang sangat tinggi dengan nilai Kg yang tinggi yaitu > 6 ditandai dengan indeks warna biru, salah satu penyebabnya dikarenakan daerah ini terletak pada dataran rendah. Jika ditinjau dari morfologi daerah penelitian, daerah ini berada pada dataran rendah yang ditutupi oleh endapan alluvial dan tersusun atas batuan yang lunak.

Nilai indeks kerentanan seismik bergantung pada geologi daerah penelitian yang mana semakin lunak batuan penyusun daerah penelitian maka nilai indeks kerentanan seismik yang didapatkan akan semakin tinggi. Jika ditinjau dari geologi regional daerah penelitian, daerah ini terdapat pada formasi

endapan rawa yang umumnya memiliki litologi yang lunak. Hal ini menunjukkan bahwa daerah yang tersusun dari litologi lunak cenderung mengalami penguatan gelombang seismik. Distribusi nilai indeks kerentanan seismik memiliki korelasi terhadap satuan geologi pada daerah tersebut. Hal ini memperkuat indikasi bahwa wilayah ini memiliki tingkat kerentanan lapisan tanah yang tinggi dan akan menimbulkan kerusakan bangunan apabila terjadi pergerakan tanah.

4.4 Hubungan Nilai Frekuensi Natural, Amplifikasi dan Indeks Kerentanan Seismik

Besarnya nilai indeks kerentanan seismik dipengaruhi oleh frekuensi natural tanah dan faktor amplifikasi tanah. Nilai indeks kerentanan seismik yang tinggi diperoleh pada daerah dengan nilai amplifikasi tinggi dan nilai frekuensi natural yang cenderung rendah sedangkan nilai indeks kerentanan seismik rendah diperoleh pada daerah dengan nilai amplifikasi rendah dan nilai frekuensi naturalnya relatif tinggi. Nilai amplifikasi tinggi berkaitan dengan daerah yang memiliki kekompakan batuan yang rendah, nilai frekuensi natural tinggi berkaitan dengan daerah ketebalan sedimen rendah dengan kekompakan batuan yang tinggi. Secara teoritis jika nilai faktor amplifikasi spektrum tanahnya besar maka sedimen di daerah itu semakin lunak, sebaliknya jika nilai faktor amplifikasi spektrum tanahnya rendah, maka semakin keras lapisan sedimennya.

Berdasarkan hasil dari ketiga gambar peta yaitu peta sebaran nilai frekuensi natural (Gambar 20), peta sebaran nilai amplifikasi (Gambar 21) dan peta sebaran nilai indeks kerentanan seismik (Gambar 22) sudah cukup menggambarkan tingkat kerentanan tanah di daerah penelitian, dikarenakan dapat memprediksi kondisi lapangan serta geologi daerah penelitian dengan nilai pada masing-masing peta dalam menentukan tingkat kerentanan tanah dan cepat rambat gelombang seismik sesuai dengan litologinya. Dan dapat pula dilihat bahwa peta sebaran nilai indeks kerentanan seismik berbanding lurus dengan peta sebaran nilai faktor amplifikasi hal ini dikarenakan daerah yang memiliki kerentanan seismik yang tinggi merupakan daerah yang tersusun atas batuan lunak sehingga memiliki tingkat kerawanan yang tinggi serta kerusakan yang besar akibat terjadinya peristiwa pergerakan tanah.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Sebaran nilai frekuensi natural (f_0) pada daerah penelitian berkisar antara 1,30-2,89 Hz. Sebaran nilai amplifikasi (A_0) berkisar antara 2,40 – 8,35 dan sebaran nilai indeks kerentanan seismik (K_g) berkisar antara 2.10 – 52.8.
2. Berdasarkan peta sebaran nilai indeks kerentanan seismik, secara umum daerah penelitian didominasi oleh zona dengan tingkat kerawanan yang sangat tinggi dengan nilai K_g yang tinggi yaitu > 6 sehingga berpotensi terjadinya kerusakan bangunan pada saat terjadinya pergerakan tanah atau gempa bumi.

5.2 Saran

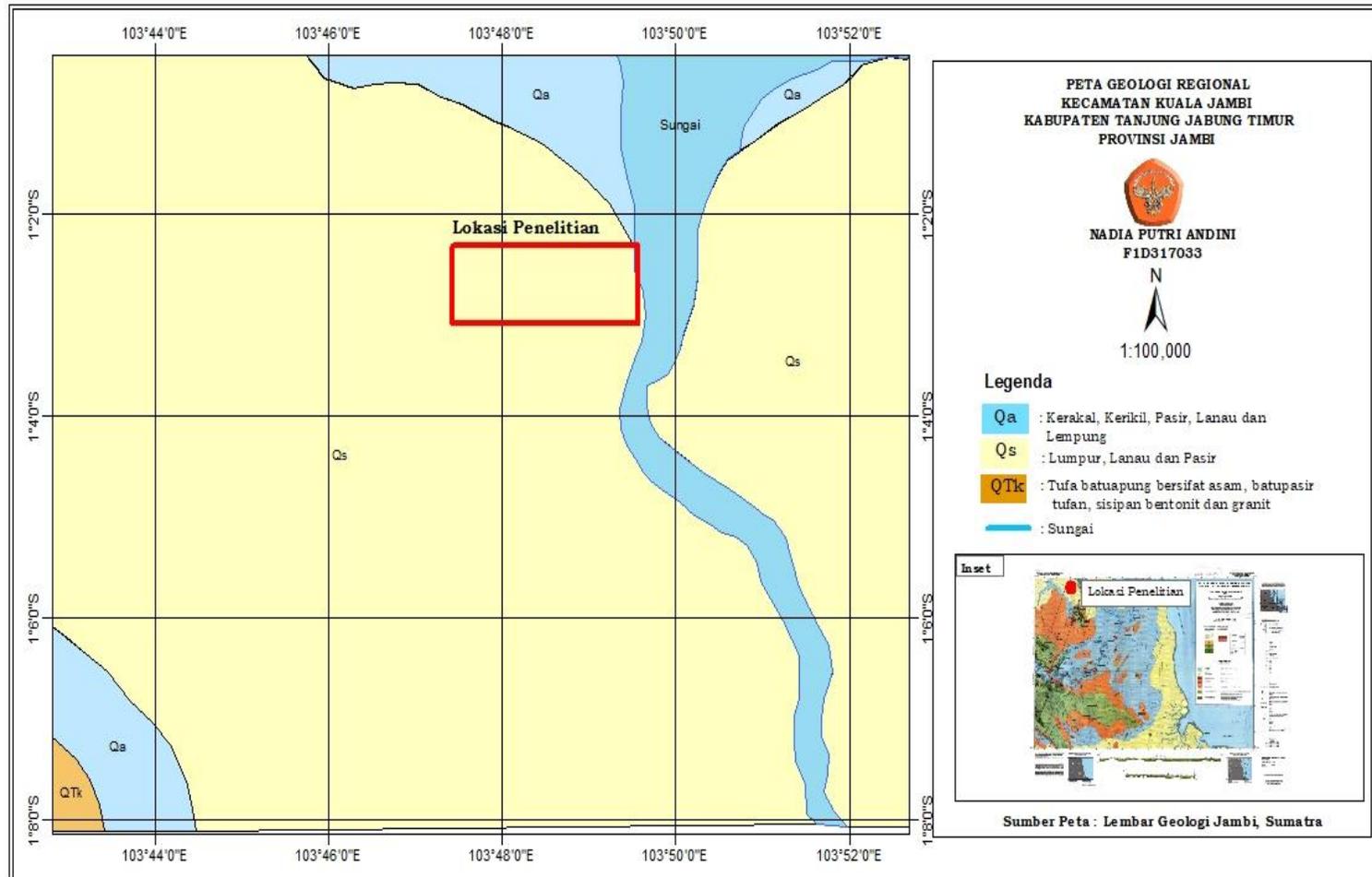
Adapun saran yang bisa diberikan pada penelitian ini adalah :

1. Memperluas daerah penelitian serta menambah jumlah titik pengukuran agar lebih mencakup seluruh daerah penelitian dengan lebih detail.
2. Pada daerah penelitian untuk melakukan pengembangan dan pembangunan disarankan melakukan rekayasa sipil sebagai upaya meminimalisir dampak yang akan terjadi akibat pergerakan tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Afnimar. 2009. *Seismologi*. Bandung: ITB.
- Arai, H., Hibino, H., Okuma, Y., Matsuoka, M., Kubo, T., & Yamazaki, F. (2000, November). Estimation of ground motion characteristics and damage distribution in Golcuk, Turkey, based on microtremor measurements. In *Proc. 6th international conference on seismic zonation* (pp. 12-15).
- Ariestianty S.K., Taha, M.R., Nayan, K.A.M dan Chik, Z. 2010. *Penentuan Modulus Geser Menggunakan Metode Analisis Multichannel Gelombang Permukaan*. Universitas Kebangsaan Malaysia : Selangor.
- Bard, Pierre-Yves, 1998, *Microtremor measurements : A tool for Site Effects Estimation, Proceedings of The 2nd International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion*, Japan
- Brown, A.R., 2005. Understanding Seismic Attribute. *Journal Geophysics*. 66(1) : 47-48.
- Elnashai., S.A dan Sarno., D.L. 2008. *Fundamental of Earthquake Engineering*. Wiley : Honglong.
- Firmansyah, Y., Riaviandhi, D., & Gani, R. M. G. (2016). Sikuen Stratigrafi Formasi Talang Akar Lapangan “Dr”, Sub-Cekungan Jambi, Cekungan Sumatera Selatan. *Bulletin of Scientific Contribution: GEOLOGY*, 14(3), 263-268.
- Gazali, I. 2017. Estimasi Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Berdasarkan Inversi Mikrotremor *Spectrum Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) Studi Kasus : Tanah Longsor Desa Olak Alen, Blitar. *Skripsi*. Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kusnadi, D., Permana., A. L, & Risdianto. 2009. Geologi Dan Geokimia Daerah Panas Bumi Geragai Kabupaten Tanjung Jabung Timur Provinsi Jambi. *Jurnal Research Management*. Halaman 1-24.
- Nakamura, Y., 1989. A Method for Dynamic Characteristic Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface. *Q.R. of R.T.I.* 30-1, h.25-33.
- Ngatijo dan Basuki, R., 2022. Asam Humat Tanah Gambut, Alternatif Sumber Humat dan Kegunaannya Sebagai Adsorben Polutan Kimia. UNJA Publisher. Jambi.
- Pemerintah Kabupaten Tanjung Jabung Timur. 2018. Data Kondisi Geografis. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air. Penelitian Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Daerah Rawa.

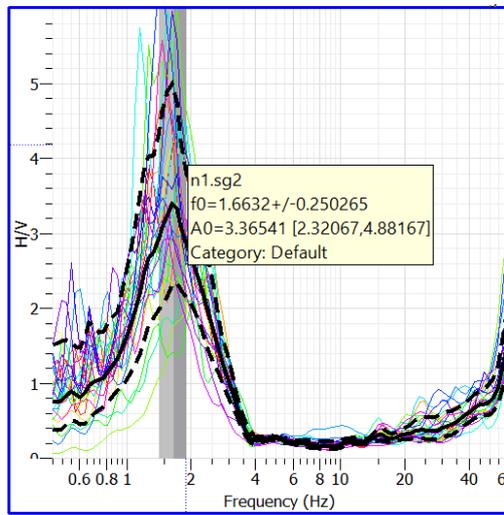
- Rahmena, H., & S. Mirasi. 2013. Seismic Study of Land Subsidence and Vulnerability of Rural Buildings by using Geophysics Method, Near Shiraz City. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences* Vol.7, No.11.
- Sarah, D., E. Soebowo., A. Mulyono, & N.A. Satriyo, 2013. Model Geologi Teknik Daerah Amblesan Tanah Kota Semarang Bagian Barat. Bandung : Prosiding Pemaparan Geoteknologi LIPI 2013 ISBN 978-979-8636-20-2.
- Sasongko, D. P., Yuliyanto, G., & A. Zaenal, 2020. Karakterisasi Daerah Rawan Gerakan Tanah di Lapangan Pandanmurti Desa Candigaron Kecamatan Sumowono Kabupaten Semarang dengan Metode Mikrotremor. *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*, 16(2), 136-143.
- Subramaniam, P., Zhang, Y., & Ku, T. (2019). Underground survey to locate weathered bedrock depth using noninvasive microtremor measurements in Jurong sedimentary formation, Singapore. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 86, 10-21.
- Sudarmadji dan Soedarsono. 2011. Pengaruh Amblesan Tanah (Land Subsidence) Terhadap Lingkungan Pemukiman di Dataran Aluvial Sebagian Kota Semarang.
- Sungkono, D. D. W., & Triwulan, W. U. (2011). Evaluation of Buildings Strength from Microtremor Analyses. *structure*, 6, 8.
- Tama, S. K., & Supriyadi. 2015. Struktur Bawah Permukaan Tanah di Kota Lama Semarang Menggunakan Metode Geolistrik Resistivity Konfigurasi Schlumberger. *Unnes Physics Journal* Vol.4, No.1.
- Tohari, A., dkk. 2013. Karakteristik Likuifaksi Tanah Pasiran di Kota Padang Berdasarkan Metode Mikrotremor. *Jurnal LIPI*. ISSN : 978-979-8636-20-2.
- Wulandari, V., & Bahri, A. S. (2012). Analisis Mikrotremor untuk Evaluasi Kekuatan Bangunan Studi Kasus Gedung Perpustakaan ITS. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 1(1), B55-B59.
- Yuliyanto, G., U. Harmoko, and S. Widada. 2016. Identification of Potential Ground Motion Using the HVSR Ground Shear Strain Approach in Wirogomo Area. Banyubiru Subdistrict. Semarang Regency. *International Journal of Applied Environmental Sciences*. Vol 11. Number 6. pp.1497-1507.



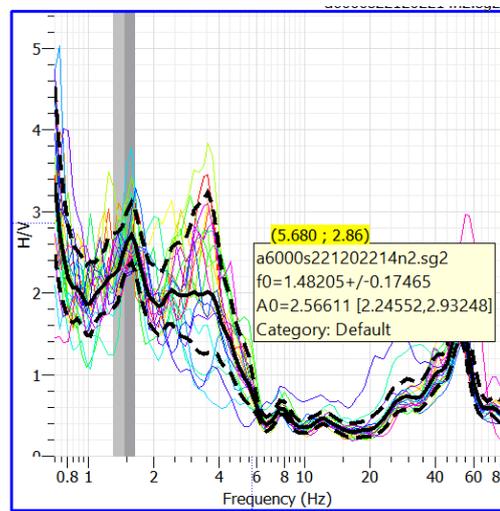
Gambar 22.Peta Geologi Regional Kecamatan Kuala Jambi

LAMPIRAN

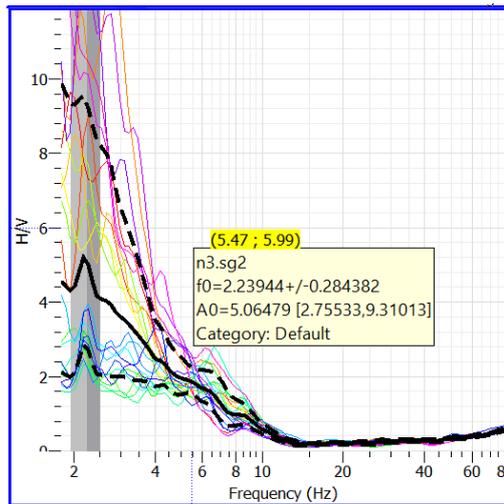
Lampiran 1. Pengolahan Data



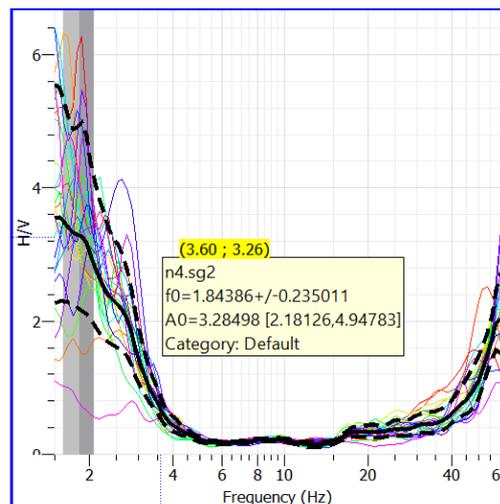
Titik 1



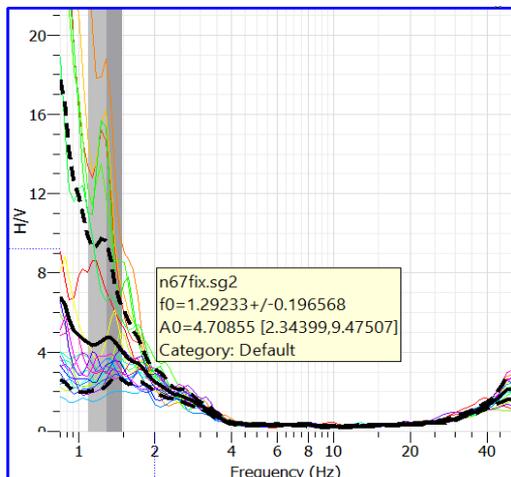
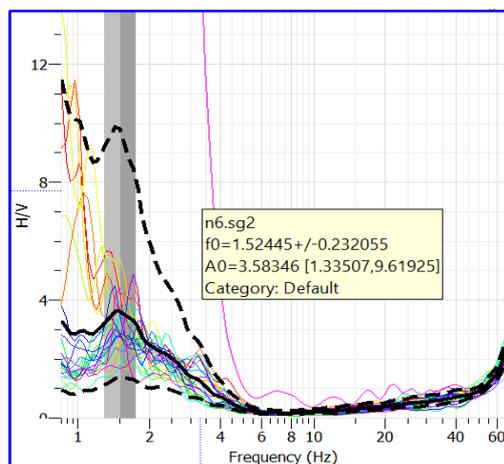
Titik 2



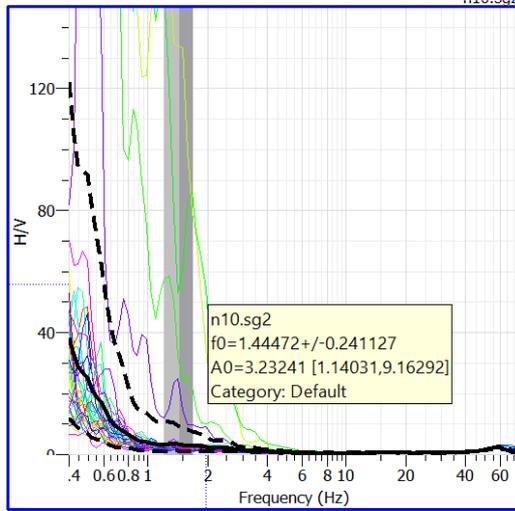
Titik 3



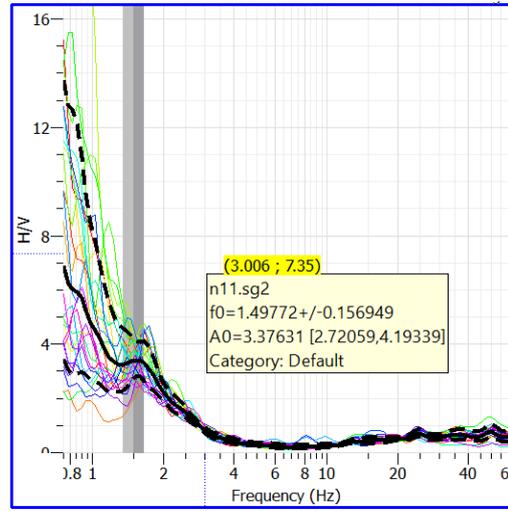
Titik 4



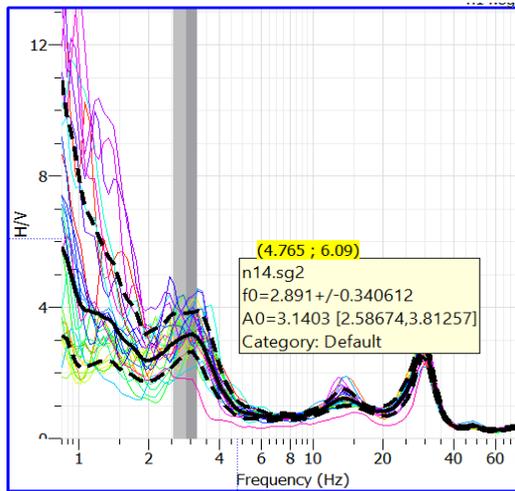
Titik 5



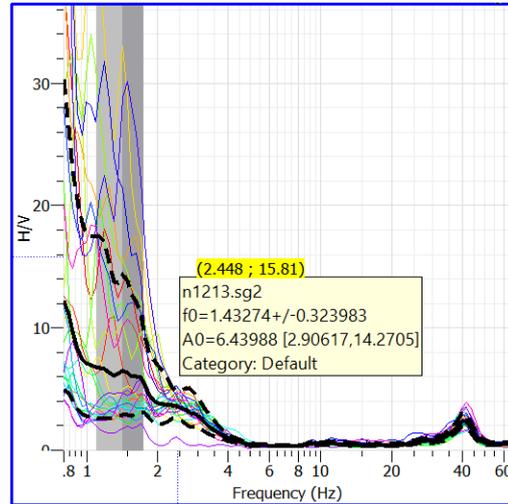
Titik 6



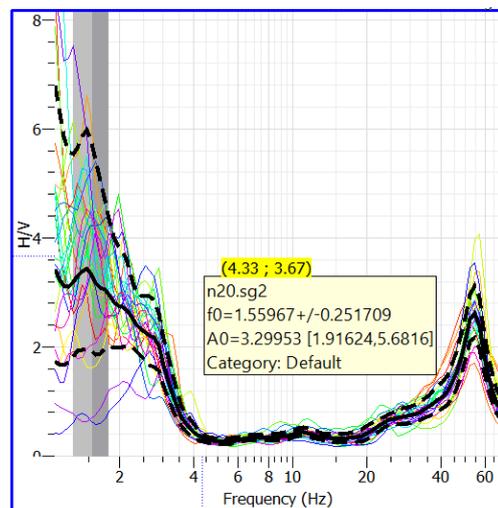
Titik 7



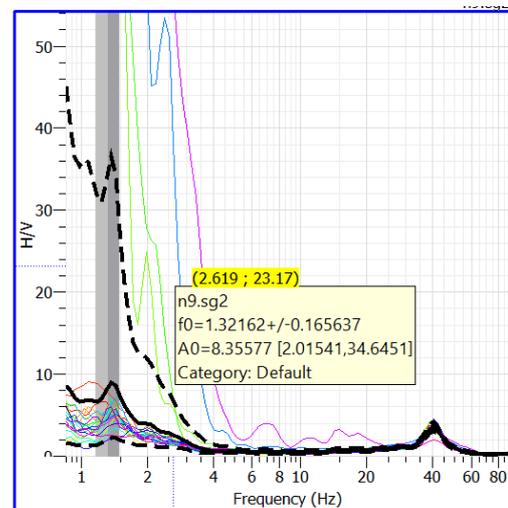
Titik 8



Titik 9

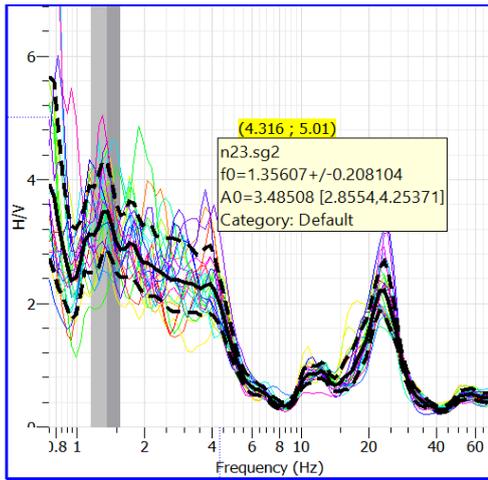


Titik 10

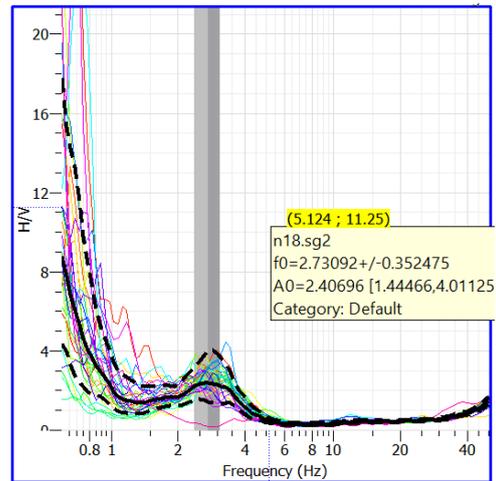


Titik 11

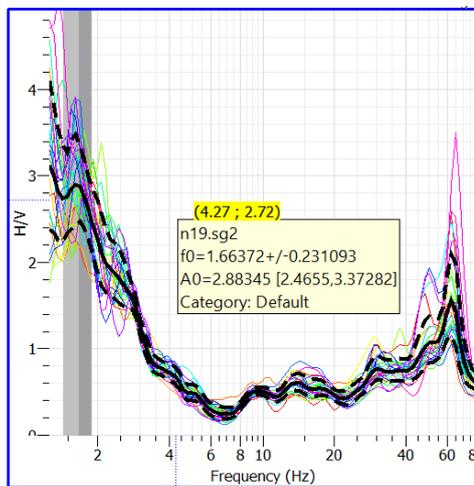
Titik 12



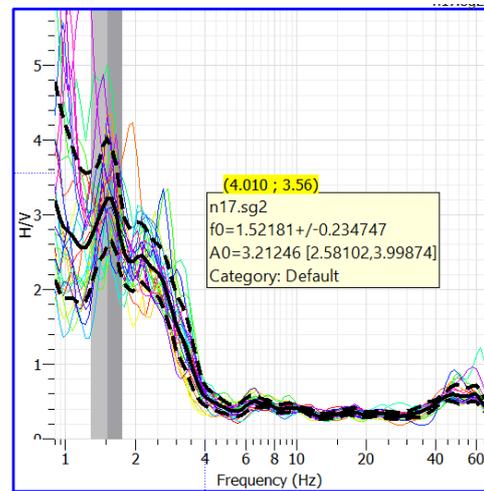
Titik 13



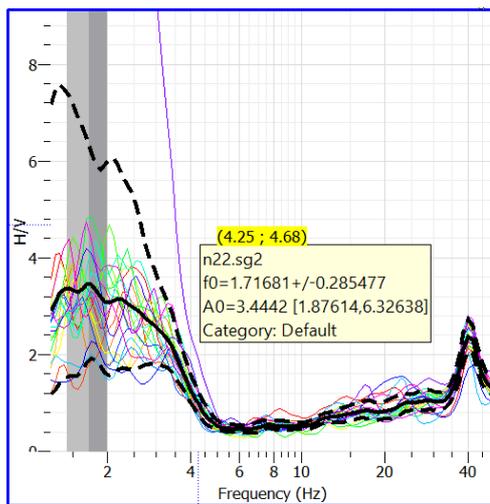
Titik 14



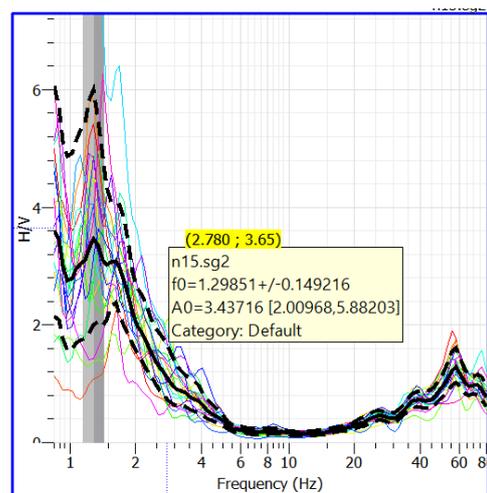
Titik 15



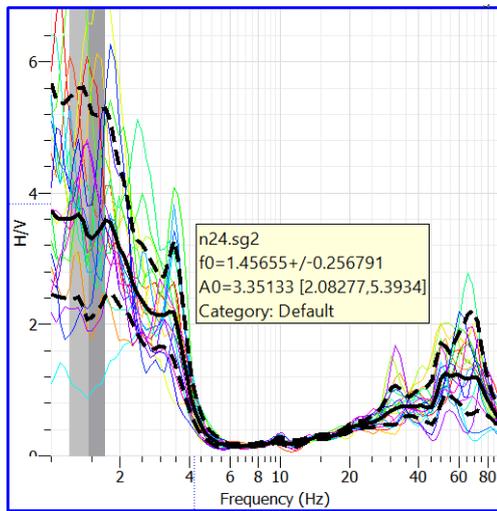
Titik 16



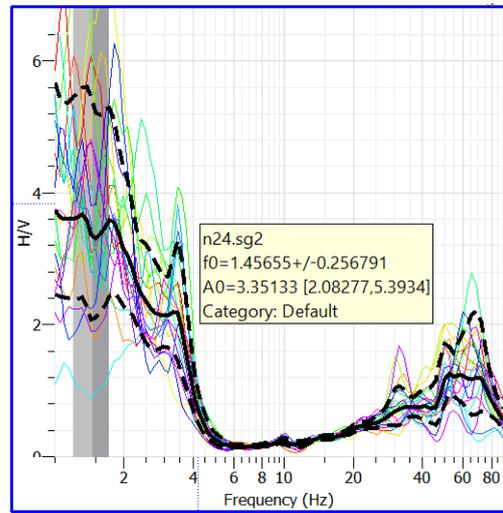
Titik 17



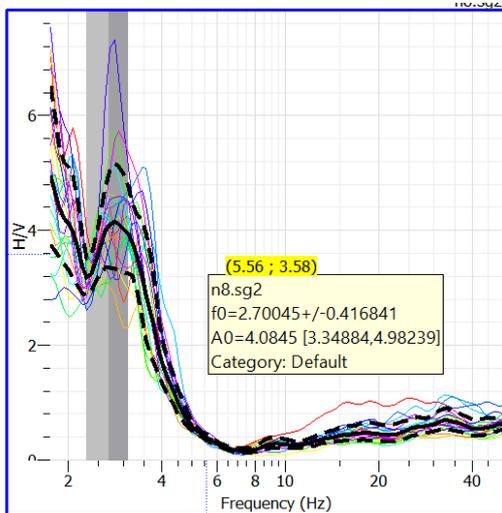
Titik 18



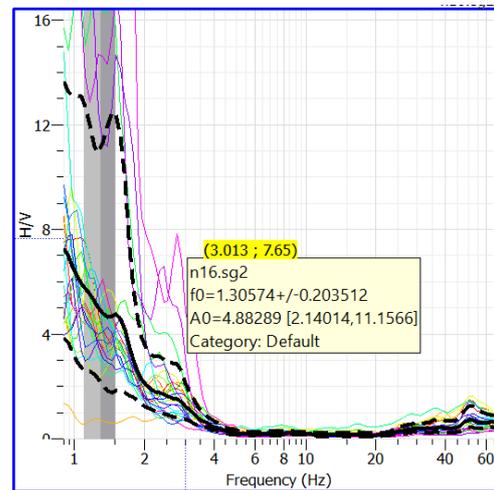
Titik 19



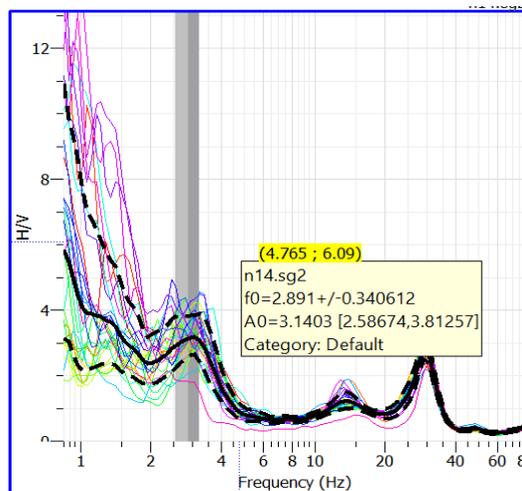
Titik 20



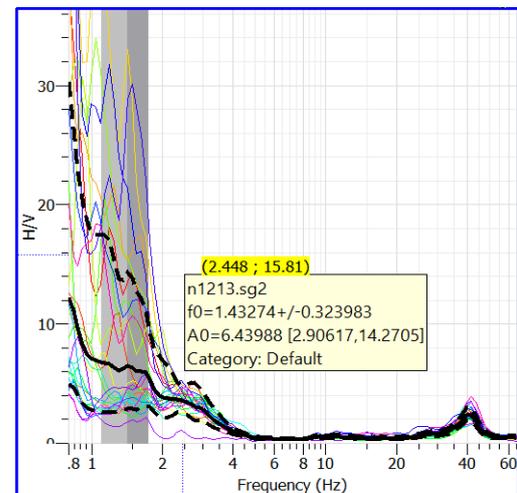
Titik 21



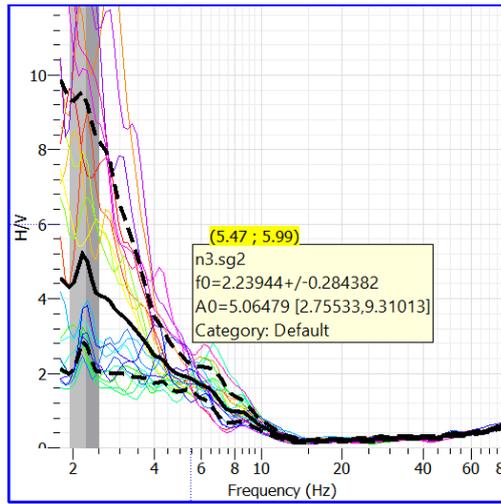
Titik 22



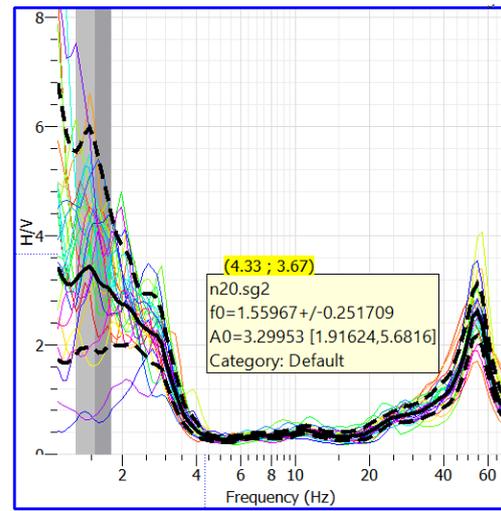
Titik 23



Titik 24



Titik 25



Titik 26

Lampiran 2. Pengambilan data



Seismograf MAE



Proses *levelling* sensor



Pencatatan data



Foto bersama



Foto bersama



Amblesan pada lantai bangunan



Bangunan mengalami kemiringan



Keretakan pada bangunan