

Skripsi Geofisika

**Mikrozonasi Potensi Bencana Kerentanan Tanah Berdasarkan Sebaran Nilai
Ground Shear Strain (GSS) di Area Pasca Likuifaksi Petobo,
Kota Palu, Sulawesi Tengah**



**OLEH:
ANDRI MOH. WAHYU LAODE
H061181335**

**DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

HALAMAN JUDUL

**Mikrozonasi Potensi Bencana Kerentanan Tanah Berdasarkan Sebaran Nilai
Ground Shear Strain (GSS) di Area Pasca Likuifaksi Petobo,
Kota Palu, Sulawesi Tengah**

SKRIPSI

***Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains
Pada Departemen Geofisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin***

OLEH:

**ANDRI MOH. WAHYU LAODE
H061181335**

**DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

**Mikrozonasi Potensi Bencana Kerentanan Tanah Berdasarkan Sebaran Nilai
Ground Shear Strain (GSS) di Area Pasca Likuifaksi Petobo,
Kota Palu, Sulawesi Tengah**

Disusun dan Diajukan Oleh:

ANDRI MOH. WAHYU LAODE

H061181335

UNIVERSITAS HASANUDDIN

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Pada 20 Januari 2023

Dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama



Dr. Erfan, M.Si

NIP. 196709032001121001



Syamsuddin, S.Si. MT

NIP. 197401152002121001

**Ketua Departemen Geofisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin Makassar**



Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng

NIP. 196709291993031003

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Andri Moh. Wahyu Laode

NIM : H061181335

Departemen : Geofisika

Judul Skripsi : Mikrozonasi Potensi Bencana Kerentanan Tanah Berdasarkan
Sebaran Nilai Ground Shear Strain (GSS) di Area Pasca
Likuifaksi Petobo, Kota Palu, Sulawesi Tengah

Menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar hasil karya sendiri dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas Hasanuddin atau Lembaga Penelitian lain kecuali kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang sudah lazim digunakan, karya tulis ini merupakan murni dari gagasan penelitian saya sendiri, kecuali arahan dari Tim Pembimbing dan masukan Tim Penguji.

Makassar, 20 Januari 2023

Yang membuat pernyataan



Andri Moh. Wahyu Laode

ABSTRAK

Kelurahan Petobo merupakan salah satu daerah yang terdampak likuifaksi tanah (seluas 180 hektar) di Kota Palu akibat gempa bumi berkekuatan 7,5 Mw yang terjadi pada 28 September 2018, gempa ini dipicu oleh sesar berdimensi besar yaitu Sesar Palu-Koro. Dilakukan pengukuran mikrotremor sebanyak 33 titik yang tersebar di Kelurahan Petobo untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah, zona kerawanan, dan potensi bencana kerentanan tanah akibat gempa bumi. Data mikrotremor dianalisis menggunakan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) melalui *software* Geopsy untuk memperoleh parameter-parameter HVSR yaitu frekuensi dominan, periode dominan, amplifikasi tanah, indeks kerentanan tanah, PGA (*peak ground acceleration*) dan GSS (*ground shear strain*). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa karakteristik lapisan tanah yang didasarkan pada nilai frekuensi dominan, periode dominan dan amplifikasi tanah adalah masing-masing berada pada rentang 0,19 – 4,75 Hz, 0,21 – 5,17 sekon dan 2,36 – 4,37, yang mana daerah penelitian termasuk dalam jenis tanah dengan ketebalan sedimen permukaan 5-30 meter. Zona indeks kerentanan tanah bernilai antara 0,88 – 42,17 yang diklasifikasikan ke dalam empat tingkat resiko kerusakan yaitu rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi, sedangkan hasil zonasi *peak ground acceleration* dengan rentang nilai 299,5 – 301,5 gal berada pada dua zona klasifikasi yang berbeda yaitu tingkat resiko tinggi dan sangat tinggi. Sementara, parameter *ground shear strain* yang digunakan untuk mengetahui potensi bencana kerentanan tanah berada pada rentang nilai 10^{-4} – 10^{-2} , yang menunjukkan tanah berpotensi untuk mengalami fenomena berupa rekahan, penurunan tanah, likuifaksi, longsoran dan tanah terpadatkan. Hasil pemetaan sebaran nilai GSS, area yang berpotensi mengalami fenomena rekahan dan penurunan tanah sebagian besar berada pada luar area tanah terlikuifaksi, sedangkan area yang berpotensi mengalami likuifaksi, longsoran, dan tanah terpadatkan berada pada area tanah terlikuifaksi. Hasil yang diperoleh dari masing-masing parameter menunjukkan bahwa daerah penelitian berpotensi tinggi mengalami resiko bencana kerentanan tanah. Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan acuan bagi pemerintah setempat dalam upaya mitigasi bencana kerentanan tanah kedepannya.

Kata Kunci: Mikrotremor, Bencana Kerentanan Tanah, HVSR, Frekuensi Dominan, Periode Dominan, Amplifikasi Tanah, Indeks Kerentanan Tanah, *Peak Ground Acceleration*, *Ground Shear Strain*.

ABSTRACT

Petobo is one of the places in Palu City that was damaged by land liquefaction (covering an area of 180 hectares) as a result of an earthquake that occurred on September 28, 2018 and measured 7.5 on the Richter scale. This earthquake was produced by a large-dimensional fault known as the Palu-Koro Fault. In order to establish the features of the soil layer, susceptibility zone, and probable soil vulnerability catastrophes caused by earthquakes, microtremor measurements were carried out at as many as 33 different sites in Petobo. Microtremor data were analyzed by applying the HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) method with the help of Geopsy software in order to obtain the following HVSR parameters: dominant frequency, dominant period, soil amplification, soil vulnerability index, PGA (peak ground acceleration), and GSS (ground shear strain). The results of the measurements show that the characteristics of the subsoil are based on the values of the dominant frequency, dominant period, and soil amplification, which are in the range of 0.19–4.75 Hz, 0.21–5.17 seconds, and 2.36–4.37, respectively, where the study area is included in the soil type with a surface sediment thickness of 5–30 meters. These values are based on the dominant frequency, which is the frequency at which the dominant event occurs, and the dominant period. The soil vulnerability index has values that range from 0.88 to 42.17, and these values are categorized into four different zone levels of damage risk: low, medium, high, and very high. In contrast, the results of peak ground acceleration zoning have values that range from 299.5 to 301.5 gal, and these results are categorized into two distinct classification zones: high and very high-risk levels. The ground shear strain parameters used to predict potential soil vulnerability disasters have values ranging from 10^{-4} to 10^{-2} . This indicates that the soil has the potential to experience phenomena in the form of fracturing, soil subsidence, liquefaction, landslides, and soil compaction. In the meantime, these are the ground shear strain parameters used to predict potential soil vulnerability disasters. As a result of mapping the distribution of GSS values, it has been determined that areas that have the potential to experience fracturing and land subsidence phenomena are mostly located outside of the liquefaction land area. On the other hand, areas that have the potential to experience liquefaction, avalanches, and compacted soils are located within the liquefaction land area. The findings that were collected from each of the parameters indicate that the location of the study has a significant potential for being vulnerable to soil disasters owing to their presence. It is anticipated that this research will serve as a reference for future efforts made by local governments to reduce the susceptibility of land to natural catastrophes.

Keywords: Microtremor, Soil Vulnerability Disaster, HVSR, Dominant Frequency, Dominant Period, Soil Amplification, Soil Vulnerability Index, Peak Ground Acceleration, Ground Shear Strain.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Mikrozonasi Potensi Bencana Kerentanan Tanah Berdasarkan Sebaran Nilai *Ground Shear Strain* (GSS) di Area Pasca Likuifaksi Petobo, Kota Palu, Sulawesi Tengah**”, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin. Sholawat serta salam tak lupa penulis curahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Kepada sahabat dan pengikutnya yang senantiasa mengikuti sunnah beliau hingga akhir zaman.

Selesaiannya proses penyusunan tugas akhir ini pun didukung oleh berbagai pihak yang memberikan semangat, ide, dukungan, dan doa tentunya. Dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan salam hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kepada orang tua tercinta dan terkasih Ibu **Roslina Pattawe** yang selalu memberikan doa dan dukungan, baik secara finansial dan juga secara rohani, sehingga penulis dapat menyelesaikan Pendidikan strata satu ini. Terima kasih juga untuk saudari perempuan saya **Nur Awalia Ramadhani** yang telah menjadi penyemangat penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Tidak lupa pula keluarga besar saya **Keluarga Pattawe** yang selalu mendukung, memotivasi, dan selalu ada di saat penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak **Dr. Erfan, M.Si** dan Bapak **Syamsuddin, S.Si., MT.** selaku pembimbing utama dan pembimbing pertama penulis. Terima kasih telah

membimbing dan memotivasi penulis dengan sabar dan juga memberikan nasihat serta masukan-masukan kepada penulis hingga selesainya tugas akhir ini.

3. Bapak **Sofian, S.Si.** selaku pembimbing lapangan penulis di BMKG Stasiun Geofisika Kelas I Palu, terima kasih telah meluangkan waktu untuk membimbing penulis di sela-sela kesibukannya, serta bapak **Hendrik Leopatty, S.Si** selaku Koordinator Bidang Data dan Informasi BMKG Stasiun Geofisika Kelas I Palu yang telah membantu penulis untuk melaksanakan penelitian Tugas Akhir serta tak lupa juga penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh staf pegawai **BMKG Stasiun Geofisika Kelas I Palu** yang telah membantu penulis selama penelitian.
4. Ibu **Makhrani, S.Si., M.Si.** dan Bapak **Muhammad Fawzy Ismullah M., S.Si., MT.** selaku tim penguji dalam pelaksanaan seminar proposal penelitian, seminar hasil penelitian, dan ujian sidang skripsi geofisika, terima kasih atas segala masukan serta saran kepada penulis.
5. Bapak **Dr. Eng. Amiruddin, S.Si., M.Si.** selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin
6. Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng.** selaku Ketua Departemen Geofisika FMIPA Universitas Hasanuddin
7. Bapak **Sabrianto Aswad, S.Si., MT.** selaku Dosen Penasihat Akademik yang banyak memberikan masukan kepada penulis.

8. Seluruh **Dosen-dosen Departemen Geofisika** yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama perkuliahan.
9. Seluruh staff Departemen Geofisika, **Pak Putra, Pak Anto dan Pak Fadli**, terima kasih telah membantu administrasi penulis selama pengerjaan tugas akhir.
10. Teman seperjuangan **Tugas Akhir dan Kerja Praktek, Muhammad Syaifullah dan Yusril Ashar Arfandhy**, terima kasih untuk tetap selalu berjuang bersama penulis hingga terselesaikannya tugas akhir ini. Teman seperjuangan **KP BMKG Palu**, terima kasih telah kebersamaian penulis selama berada di tempat KP.
11. Teman-teman **Himafi 2018, Dede, Justin, Hadi, Tater, Mulyanto, Hasnan, Heral, Ipul, Uci, Azlan, Sarwan, Wawan, Pian, Agung, Komang, Zefa, Jihan, Fya, Iis Ainul, Jojo, Marni, Irma, Fira, Wilda, Sri, Fhaika, Aini, Ilmi, Acam, Dena, Nunu, Vika, Yesi, Wibu, Geby, Milen, Suci, Mute, Nilam, Onding, Nisa, Yen, Juni, Kiki, Epe, Ayu, Ocha, Windy, Sheren, Dhea, Fina, Fiskah, Chana, Feni, Risda, Uli, Kutir, Sari, Firda, Cunni, Yuyun, Cica, Aqila, Angela, Azmi, Aulia, Masdar, Yusran, Yansen, Syahrul, Indra, Slengos, Rana, Izzah, Afni, Dilla, Yusril dan Fauzan**, yang selalu memberikan dukungan, saran dan nasehat kepada penulis. Tetap solid dan salam **“Satu Tekad Taklukkan Waktu”**.
12. Teman-teman **MIPA 2018**, khususnya teman-teman **Pengurus BEM FMIPA Unhas Periode 2021/2022, Jalil, Dede, Alif, Milen, Chand, Lutfi, Yusuf, Heral, El, Icha, Pitto, Zefa, Iis, Nunu, Sheren, Shamad, Ishak**,

Cilla, Firda, Spaer, Jojo, Yaya, Nasmah, Afni, Yuyun, Syara, Snufkin, Nando, Calli, Ana, Dena, Esri, Fira, Isa, Jihan, Fya, Marsya, Vivi, Ilmi, Vika Ninis, Geby, Wilda, Juni, Uci, Ardi, Azlan, Ipul, Syahrul, Kido, Onding, Marni, Wildawati, Umar, Hasnan, Aldo, Maya, Aqila, Acam, Justin, Inul, Agung, Farhan, Komang, Ail, Sarwan dan Wawan. Terima kasih sudah kebersamaan penulis dari MABA hingga sekarang, salam **“Use Your Mind Be the Best”**. **“Takkan Pudar”**.

13. **Adik-adik HIMAFI dan HMGF 2019, Ismi, Afikah, Lidah, Indah, Mey, Dahlia, Akbar, Suleha, Jinaan, Zaki, Habib, Reika, Asyifah, Pipit, Hesti, Risda, Aisyah, Sindy, Cindy, Dian, Fausta, Jack, Nanda, Ashar, Sekar, Galib, Arsyih, Haikal, Devi, Diki, Sarnianto, Patio, Nismul, Nude, Haerul, Haidir, Alif, Nurmuslimah, Ita, Yusri, Jimbo, Alya, Nurul, Ikram, Asira, Kerani, Sire, Umni, Rara, Ririn, Tona, Septia, dan yang lainnya yang tidak sempat penulis tuliskan.** Terima kasih telah membantu penulis sejak panitia hingga saat ini. Tetaplah berproses dan dimudahkan kehidupan kampusnya hingga selesai.
14. **Adik-adik HMGF 2020 (T20POSFER), Algi, Toktok, Astri, Asmawan, Faiz, Guntur, Imran, Scooby, Dayat, Ema, Aini, Aza, Asi, Echa, Angel, Ima, Mela, Lola, Resty, Gloria, Jane, Nisfit, Hasna, Rezky, Qalbi, Wulan, Mifta, Umi, Milka, Selfi, Aurel, Sandra, Regita, Indah, Fira, Merlia, Ica, Cholis, Magfirah, Datu, Emmi, Izzah, Tazkia, Ansya, Yudi, Ical, Awi, Yonas, Agung, Rianul, Dirham, Ila, Defina, Wikal, Gery, Nikom, Rizka,**

- Arpah dan Ihsan.** Terima kasih sudah membantu penulis baik dalam administrasi maupun selama kepengurusan di himpunan. Tetaplah berproses.
15. **Board dan Staff SPE Unhas SC.** Terkhusus untuk Presiden SPE Unhas SC 21/22, **Nurul Fhaika** yang telah membantu dan membersamai penulis selama menjadi staff dan board member.
 16. **HMGI Wilayah V.** Terkhusus untuk divisi Media dan Informasi, terima kasih telah membantu penulis untuk mengembangkan diri.
 17. Teman-teman **KKN Unhas Gel. 107 Takalar 4 – Mangarabombang.** Terkhusus kepada **Andrew, Lute, Ica, Nisa, Rustam, Yusuf, Angga, Yayat, QienQien, Endang, Ryas, Kak Acha, Nica, Fajar, Lerang, dan Ojan** serta Ibu Posko **Bunda Sompia** dan Ibu Sekdes Topejawa **Kak Nurjayanti.**
 18. Teman-teman **Kampus Mengajar Ang. 4,** yakni **Kiki, Fadrul, Rezky, dan Rifkah,** terima kasih sudah membantu penulis dalam pelaksanaan KM 4, terima kasih juga sudah pengertian kepada penulis selama sibuk mengerjakan tugas akhir ini.
 19. Teman-teman **XII IPA 3 SMA Negeri 1 Luwuk,** terkhusus untuk **Ical, Cia, Vira, Suling, Ibi, Ajeng, Dinda, Elisa** yang telah menjadi tempat penulis untuk berkeluh kesah seputar perkuliahan.

Makassar, 20 Januari 2023



Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	3
I.3 Ruang Lingkup	4
I.4 Tujuan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
II.1 Geologi Regional.....	6
II.1.1 Kondisi Geologi dan Tataan Tektonik Kota Palu.....	6
II.1.2 Geomorfologi Kota Palu.....	7
II.2 Gempa Bumi dan Likuifaksi	9
II.3 Gelombang Seismik	11
II.3.1 Gelombang Badan (<i>Body Wave</i>).....	12
II.3.2 Gelombang Permukaan (<i>Surface Wave</i>).....	13

II.4 Mikrozonasi Seismik.....	14
II.5 Mikrotremor	16
II.6 Metode HVSR (<i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i>)	17
II.7 Parameter-parameter Rasio Spektral HV	19
II.7.1 Frekuensi Dominan (f_0) dan Periode Dominan (T_0).....	19
II.7.2 Amplifikasi Tanah (A_0)	21
II.8 Indeks Kerentanan Tanah (K_g).....	22
II.9 <i>Peak Ground Acceleration</i> (α)	23
II.10 <i>Ground Shear Strain</i> (γ).....	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
III.1 Lokasi Penelitian.....	27
III.2 Alat dan Bahan.....	28
III.2.1 Alat	28
III.2.2 Bahan.....	32
III.3 Prosedur Penelitian	32
III.3.1 Tahap Pendahuluan	33
III.3.2 Tahap Pengumpulan Data	33
III.3.3 Tahap Pengolahan Data.....	33
III.3.4 Tahap Interpretasi Data	35
III.4 Bagan Alir Penelitian	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
IV.1 Analisis Data.....	37
IV.2 Karakteristik Lapisan Tanah.....	39

IV.2.1 Analisis Frekuensi Dominan dan Periode Dominan	39
IV.2.2 Analisis Faktor Amplifikasi Tanah	43
IV.3 Zonasi Nilai Indeks Kerentanan Tanah dan Peak Ground Acceleration	44
IV.3.1 Analisis Indeks Kerentanan Tanah	44
IV.3.2 Analisis <i>Peak Ground Acceleration</i>	46
IV.4 Analisis Potensi Bencana Kerentanan Tanah	48
BAB V PENUTUP	52
V.1 Kesimpulan	52
V.2 Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN.....	63
Lampiran 1. Proses <i>Windowing Data</i>	64
Lampiran 2. Kurva HVSR Setiap Titik Pengukuran.....	76
Lampiran 3. Perhitungan PGA.....	83
Lampiran 4. Perhitungan Keseluruhan Data	85
Lampiran 5. Lembar Akuisisi Data Mikrotremor	87
Lampiran 6. Dokumentasi Lapangan	120

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Peta Geologi Kota Palu	7
Gambar II.2 Peta Geomorfologi Kota Palu.....	8
Gambar II.3 Citra satelit sebelum dan sesudah likuifaksi di Petobo.....	11
Gambar II.4 Penjalaran gelombang P dan gelombang S	12
Gambar II.5 Penjalaran gelombang Rayleigh dan gelombang love.....	14
Gambar II.6 Kurva HVSR	18
Gambar II.7 Deformasi regangan geser di permukaan tanah.....	25
Gambar III.1 Peta lokasi penelitian	27
Gambar III.2 Digital Portable Seismograph tipe TDL-303S	28
Gambar III.3 Seismometer tipe DS-4A	28
Gambar III.4 GPS	29
Gambar III.5 GPS Garmin Monterra	29
Gambar III.6 Kabel penghubung <i>digitizer</i> ke seismometer	29
Gambar III.7 Kabel penghubung <i>digitizer</i> ke laptop	30
Gambar III.8 Kompas Geologi	30
Gambar III.9 Laptop	30
Gambar III.10 Patok	31
Gambar III.11 Lembar Akuisisi.....	31
Gambar III.12 Bagan Alir Penelitian	36
Gambar IV.1 Data Sinyal yang Terekam dari Pengukuran Mikrotremor pada Titik PTB_01	37
Gambar IV.2 Proses <i>windowing</i> pada titik pengukuran PTB_01.....	38

Gambar IV.3 Kurva HVSR pada PTB_01	39
Gambar IV.4 Peta Sebaran Nilai Frekuensi Dominan	40
Gambar IV.5 Peta Sebaran Nilai Periode Dominan	41
Gambar IV.6 Peta Sebaran Nilai Amplifikasi	43
Gambar IV.7 Peta Sebaran Nilai Indeks Kerentanan Tanah (Kg)	45
Gambar IV.8 Peta Sebaran Nilai <i>Peak Ground Acceleration</i>	47
Gambar IV.9 Peta Potensi Bencana Kerentanan Tanah	49

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Klasifikasi Nilai Frekuensi Dominan dan Periode Dominan Oleh Kanai	19
Tabel II.2 Klasifikasi Nilai Amplifikasi	22
Tabel II.3 Klasifikasi Nilai Indeks Kerentanan Tanah	23
Tabel II.4 Klasifikasi Tingkat Resiko Bahaya Gempa Bumi.....	24
Tabel II.5 Fenomena Dan Efek Dinamis Dari Nilai GSS	26
Tabel IV.1 Klasifikasi Nilai Frekuensi Dominan dan Periode Dominan.....	42
Tabel IV.2 Klasifikasi Nilai Amplifikasi	44
Tabel IV.3 Klasifikasi Nilai Indeks Kerentanan Tanah	46
Tabel IV.4 Klasifikasi Nilai <i>Peak Ground Acceleration</i>	48
Tabel IV.5 Klasifikasi Nilai <i>Ground Shear Strain</i>	50
Tabel IV.6 Perbandingan Nilai GSS Sebelum dan Sesudah Gempa 28 September 2018.....	51

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kota Palu, Sulawesi Tengah tercatat sabagai daerah rawan gempa bumi kerana memiliki aktivitas tektonik yang cukup tinggi di Indonesia. Tingginya tingkat aktivitas kegempaan di kawasan ini tidak lepas dari lokasinya yang berada pada zona benturan tiga lempeng tektonik (Indo-Australia, Pasifik dan Eurasia) (Liu dan Shi, 2021). Penyebab utamanya adalah terdapat sistem patahan (sesar) yang berdimensi cukup besar yang dikenal dengan Sesar Palu Koro. Selain itu, terdapat juga terdapat beberapa sesar sekunder seperti Sesar Matano, Sesar Malei, Sesar Palolo, dan Sesar naik Mamuju. Sesar Palu Koro ini memanjang hampir utara-selatan memotong pulau Sulawesi dari sekitar Donggala hingga teluk Bone. Ditinjau dari bentuk morfologinya, keberadaan sesar ini dapat dikenali dari kelurusan gawir sesar di sebelah barat Kota Palu dan menerus menjadi lembah sempit di bagian selatan (Abdullah dan Abdullah, 2020).

Dampak yang ditimbulkan dari Sesar Palu Koro ini adalah gempa bumi dengan magnitudo yang besar, seperti yang terjadi pada 28 September 2018 dengan magnitudo 7.5 Mw berpusat di 26 km utara Kab. Donggala dan 80 km barat laut Kota Palu dengan kedalaman gempa 10 km yang disusul terjadinya likuifaksi di dua tempat (Petobo dan Balaroa), dampak dari aktivitas tektonik tersebut menelan banyak korban jiwa dan kerugian besar dari rusaknya infrastruktur. Salah satu daerah yang paling terdampak di Kota Palu adalah Petobo, sekitar 1040 hektar wilayah Petobo mengalami likuifaksi yang mengakibatkan kerusakan bangunan yang sangat tinggi.

Kerusakan yang disebabkan gempabumi bukan hanya berdasarkan jarak daerah ke pusat gempa dan magnitudonya, tetapi juga disebabkan oleh kondisi geologi permukaannya (Simanjuntak dkk., 2017). Daerah yang permukaannya didominasi oleh lapisan sedimen lunak akan mengalami kerusakan yang lebih besar dibandingkan daerah yang didominasi batuan yang keras. Selain itu, daerah dengan lapisan permukaan lunak dapat memperbesar efek amplifikasi, yaitu perbesaran gelombang gempabumi dari batuan keras (*bedrock*) ke lapisan sedimen permukaan (Wibowo dkk., 2018).

Resiko kerusakan akibat gempabumi bisa diminimalisir dengan melakukan mikrozonasi potensi kerusakan di daerah rawan gempabumi, khususnya Kota Palu. Mikrozonasi merupakan proses memetakan suatu wilayah berdasarkan parameter seismik dan memperkirakan respon lapisan tanah atau sedimen terhadap gempa. Tingkat kerawanan bervariasi dari satu wilayah ke wilayah lain karena kondisi geologis yang berbeda. Dalam melakukan mikrozonasi potensi kerusakan akibat gempa bumi dapat dilakukan dengan melakukan pengukuran mikrotremor (Januarta dkk., 2020). Parameter-parameter dari pengukuran mikrotremor didapatkan dengan metode HVSR (Iswanto dkk., 2019).

Metode HVSR merupakan metode membandingkan spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari gelombang mikrotremor (Yuliyanto dkk., 2016). Parameter-parameter yang dihasilkan dari metode HVSR adalah frekuensi dominan dan amplifikasi tanah. Kedua parameter ini bisa mendapatkan parameter penting untuk mikrozonasi potensi kerusakan akibat gempabumi, yakni indeks kerentanan tanah (K_g), *peak ground acceleration* (α) dan

ground shear strain (γ). Indeks kerentanan tanah didefinisikan sebagai indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempa bumi (Nakamura, 2000). *Peak ground acceleration* merupakan getaran tanah maksimum yang pernah terjadi di suatu tempat dalam kurun waktu tertentu. *Ground shear strain* merepresentasikan kemampuan material lapisan tanah untuk bergeser saat terjadi gempabumi. GSS ini juga dapat dimanfaatkan untuk mengindikasikan bencana kerentanan tanah yang diakibatkan oleh gempa bumi, seperti retakan tanah, longsor, penurunan tanah, dan likuifaksi.

Penelitian yang dilakukan sebelum gempa tahun 2018 di Kota Palu oleh Thein dkk., (2014) dan Zakia dkk., (2017) menyatakan bahwa daerah Petobo memiliki nilai GSS yang menunjukkan adanya potensi mengalami likuifaksi. Sehubungan dengan adanya penelitian tersebut, perlu dilakukan mikrozonasi GSS di area pasca likuifaksi Petobo untuk mengetahui potensi bencana kerentanan tanah di daerah penelitian kedepannya.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik lapisan tanah di daerah penelitian berdasarkan nilai frekuensi dominan (f_0), amplifikasi tanah (A_0), dan periode dominan (T_0)?
2. Bagaimana zonasi nilai Indeks Kerentanan Tanah (K_g) dan *Peak Ground Acceleration* (PGA) di daerah penelitian?
3. Bagaimana potensi bencana kerentanan tanah berdasarkan zonasi nilai *Ground Shear Strain* (GSS)?

I.3 Ruang Lingkup

Penelitian ini dibatasi pada pengambilan data primer mikrotremor di 33 titik yang tersebar di Kelurahan Petobo, Kota Palu, Sulawesi Tengah dan data sekunder berupa data mikrotremor sebanyak 3 titik yang diukur sebelum gempa 28 September 2018 dan data gempa Palu 28 September 2018 yang terdiri dari magnitudo, episenter dan hiposenter. Selanjutnya dilakukan pengolahan data menggunakan metode HVSR melalui *software* Geopsy untuk memperoleh informasi nilai Frekuensi Dominan (f_0), Amplifikasi Tanah (A_0), dan Periode Dominan (T_0) yang nantinya akan diolah kembali untuk mendapatkan nilai Indeks Kerentanan Tanah (K_g). *Peak Ground Acceleration* (PGA) didapatkan dari perhitungan nilai magnitudo dan jarak hiposenter ke titik pengukuran. Kemudian nilai Indeks Kerentanan Tanah (K_g) dan *Peak Ground Acceleration* (PGA) diolah untuk mendapatkan nilai *Ground Shear Strain* (GSS) untuk mengetahui potensi bencana kerentanan tanah. Setiap parameter yang diperoleh dilakukan proses interpolasi menggunakan metode *spline* untuk mendapatkan hasil berupa peta mikrozonasi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa informasi terkait karakterisasi lapisan tanah di area Petobo pasca Likuifaksi. Selain itu, informasi nilai sebaran *ground shear strain* bisa dijadikan bahan bagi pemerintah setempat untuk upaya mitigasi bencana kerentanan tanah dan perancangan pembangunan infrastruktur untuk meminimalisir dampak gempa bumi kedepannya.

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik lapisan tanah di daerah penelitian berdasarkan nilai frekuensi dominan (f_0), amplifikasi tanah (A_0), dan periode dominan (T_0).
2. Membuat zona nilai Indeks Kerentanan Tanah (K_g) dan *Peak Ground Acceleration* (PGA) di daerah penelitian.
3. Mengetahui potensi bencana kerentanan tanah berdasarkan zonasi nilai *Ground Shear Strain* (GSS).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Geologi Regional

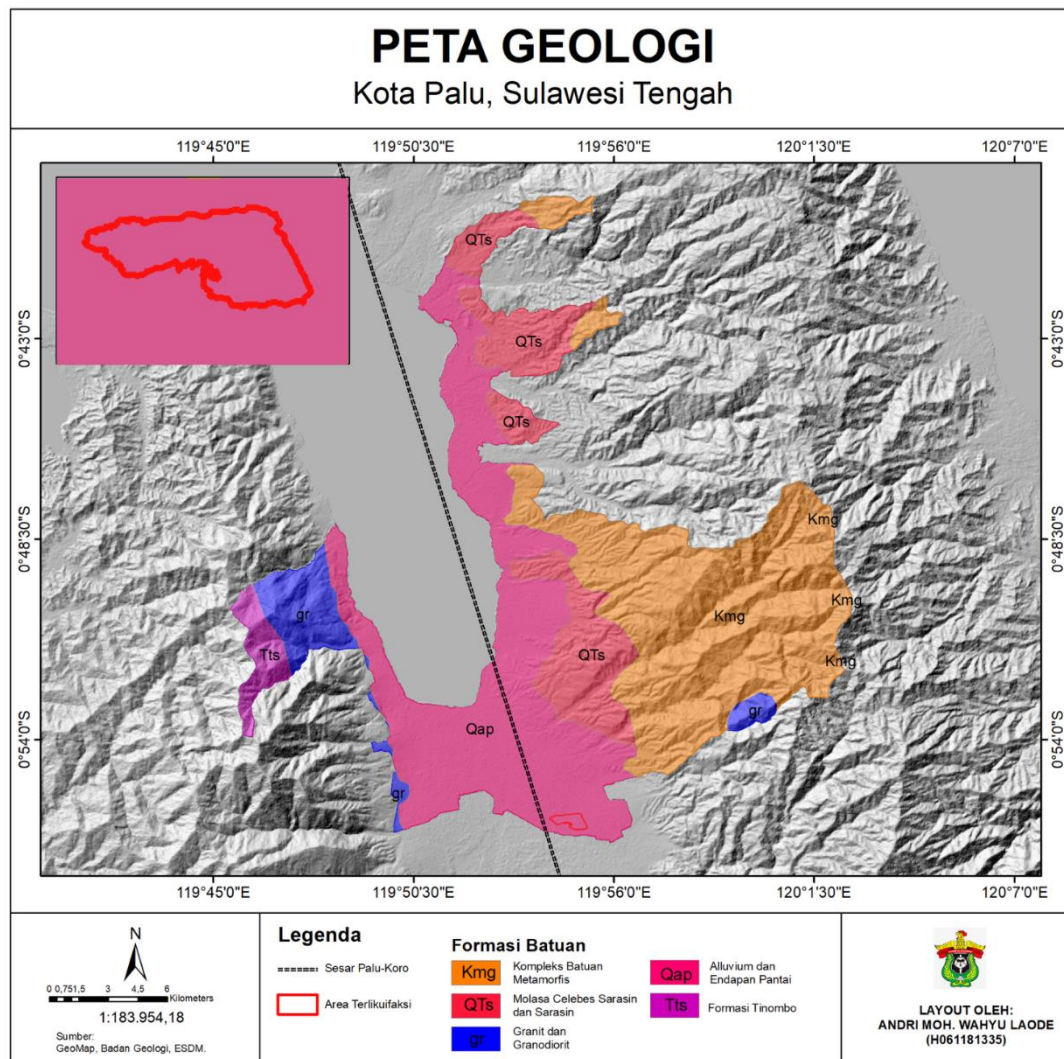
II.1.1 Kondisi Geologi dan Tatanan Tektonik Kota Palu

Kota Palu memiliki kondisi lapisan batuan bawah permukaan dengan sifat fisis yang sangat beragam, di antaranya adalah Alluvium dan endapan pantai, Molasa Celebes Sarasin dan Sarasin, Kompleks Batuan Metamorf, Formasi Tinombo, serta granit dan granodiorit. Kondisi struktur lapisan batuan bawah permukaan sangat penting diketahui mengingat daerah ini dilintasi sesar dengan dimensi cukup besar yakni Sesar Palu Koro (Hendra dkk., 2019). Sesar Palu Koro ini memanjang dari utara hingga selatan memotong Pulau Sulawesi. Ditinjau dari bentuk morfologinya, keberadaan sesar ini dapat dikenali dari kelurusan gawir sesar di sebelah barat Kota Palu dan menerus menjadi lembah sempit di bagian selatan (Marjiyono dkk., 2013).

Formasi batuan yang terdapat di lokasi penelitian dan sekitarnya adalah Alluvium dan endapan pantai yang terdiri dari kerikil, pasir, lumpur dan batu gamping koral. Alluvium ini merupakan formasi yang paling muda umurnya yang terbentuk dari hasil rombakkan dari wilayah perbukitan yang membatasinya. Kondisi batuan pada Formasi ini umumnya berupa material yang belum mengalami kompaksi (Hendra dkk., 2019).

Meninjau dari kondisi geologi dan tatanan tektoniknya, Kota Palu rawan akan potensi bahaya yang diakibatkan oleh gempa bumi. Dampak yang akan terjadi jika terjadi gempa besar sesuai dengan kondisi geologinya yaitu terjadinya bencana

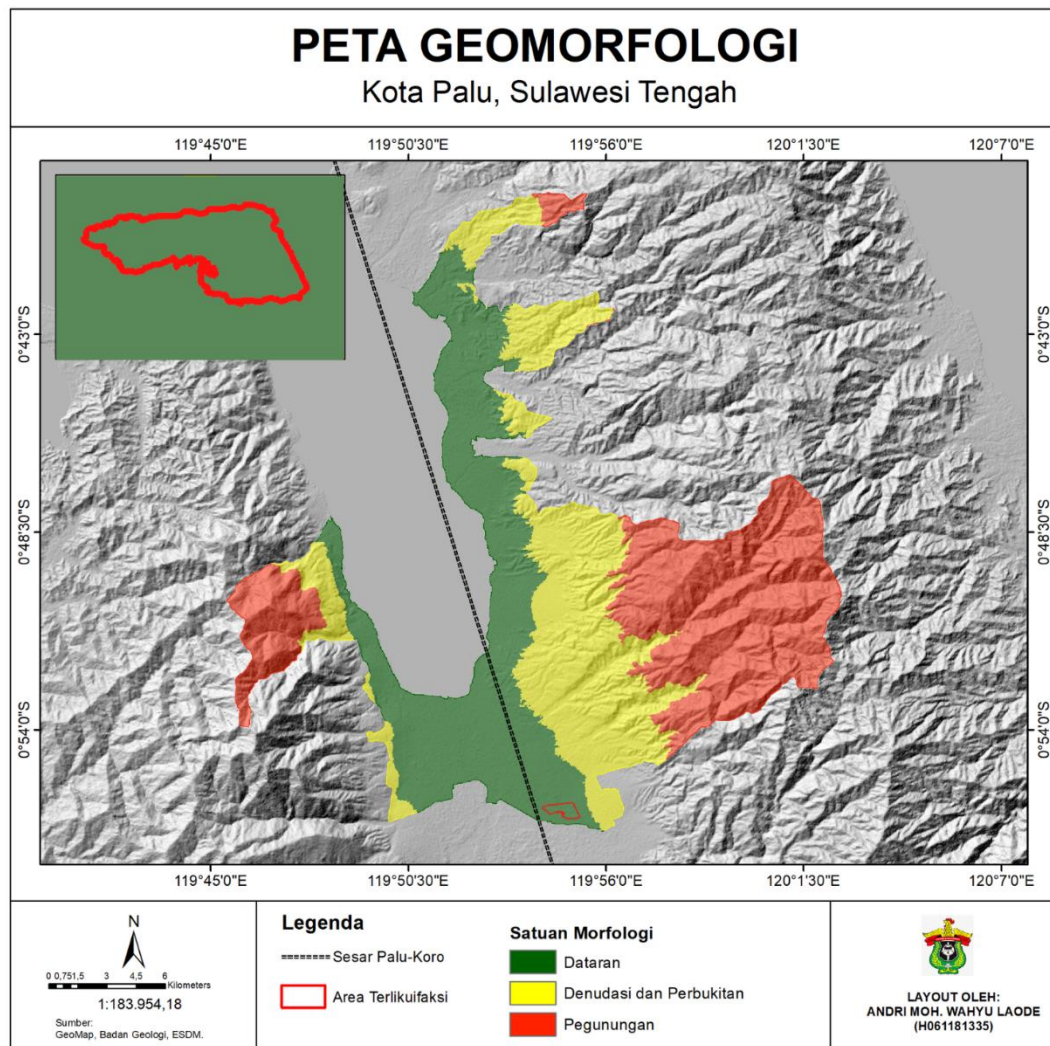
sekunder gempa yang kerusakannya sangat tinggi, seperti longsoran tebing yang dapat memicu tsunami, dan likuifaksi dalam skala yang cukup besar (Ramadhani, 2011).



Gambar II.1 Peta Geologi Kota Palu (Badan Geologi, 2012).

II.1.2 Geomorfologi Kota Palu

Geomorfologi Kota Palu dapat dilihat pada gambar II.2 di mana satuan geomorfologinya terbagi menjadi tiga yakni morfologi dataran, morfologi denudasi dan perbukitan, dan morfologi pegunungan.



Gambar II.2 Peta Geomorfologi Kota Palu

Kenampakan morfologi dari morfologi dataran berupa topografi yang tidak beraturan, lemah, dan merupakan daerah banjir musiman, dasar sungai umumnya meninggi karena sedimentasi fluvial. Morfologi ini tersusun atas material dominan berupa alluvial sungai dan pantai dengan bentukan morfologi berupa dataran dan kemiringan lereng 0-5%. Pusat kota Palu didominasi oleh satuan geomorfologi ini termasuk daerah penelitian yaitu Petobo. Sedangkan morfologi denudasi dan perbukitan, kenampakan morfologinya bergelombang lemah hingga bergelombang

kuat. Daerah kipas aluvial termasuk dalam satuan morfologi ini. Bentuk morfologinya berupa perbukitan berelief halus dengan kemiringan lereng 5-15%. Morfologi ini menyebar ke daerah Palu Timur, Palu Utara, dan membatasi daerah morfologi dataran dengan morfologi pegunungan. Kemudian untuk morfologi pegunungan memiliki kenampakan morfologi berupa pegunungan dengan kemiringan lereng >15% (Badan Geologi, 2012).

II.2 Gempa Bumi dan Likuifaksi

Gempa bumi merupakan guncangan tanah dan batu yang disebabkan oleh pelepasan energi secara tiba-tiba di bagian kerak bumi (Marchetti dkk., 2019). Energi ini dapat berasal dari berbagai sumber, salah satunya yaitu adanya pergerakan tektonik (Scholz, 1990). Pergerakan tektonik ini dihasilkan oleh adanya pertemuan lempeng baik secara divergen, konvergen dan *transform* (Elnashai dan Di Sarno, 2008). Gempa bumi yang terjadi dideskripsikan oleh parameter-parameter yang mengikutinya. Parameter gempa bumi ini meliputi waktu kejadian, lokasi episenter, kedalaman pusat gempa (hiposenter), intensitas gempa, dan magnitude (Afnimar, 2009).

Gempa bumi yang terjadi di kota Palu termasuk dalam tipe zona perubahan (*transform zone*) yang disebabkan oleh pergerakan antara dua lempeng yang bergeser satu sama lain (*slide each other*), sejajar namun berlawanan arah. Gempa bumi yang terjadi di wilayah ini umumnya merupakan gempa bumi kerak dangkal yang disebabkan oleh sesar Palu Koro dan sesar Matano (Badan Geologi, 2012).

Gempa bumi yang terjadi pada 28 September 2018 merupakan salah satu gempa yang paling merusak dalam sejarah kota Palu. Wilayah terdampak adalah

Kabupaten Donggala, Sigi, Parigi Moutong dan Kota Palu. Efek yang ditimbulkan dari gempa bumi ini yaitu efek guncangan, sesar permukaan (*surface rupture*), tsunami, dan likuifaksi (Badan Geologi, 2018).

Likuifaksi merupakan fenomena hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat tegangan air pori akibat getaran tanah. Getaran yang dimaksud adalah getaran yang diakibatkan oleh gempa bumi. Ketika getaran ini terjadi, komposisi lapisan tanah berubah dan menjadi seperti cairan, tidak mampu menopang beban bangunan di dalam atau di atasnya. Semakin besar getaran yang dihasilkan dari gempa bumi, maka semakin besar juga potensi terjadinya likuifaksi (Artati dkk., 2020).

Likuifaksi biasanya terjadi pada tanah yang jenuh air, dimana seluruh rongga-rongga dari tanah tersebut dipenuhi oleh air. Jenis tanah berpasir lebih berpotensi terjadi likuifaksi dibandingkan tanah lempung dikarenakan pada jenis tanah pasir, ketika terjadi guncangan gempa, tanah pasir mempunyai sifat tidak bisa memadat (Bao dkk., 2019). Karena tidak stabil, saat diguncang gempa bumi yang kuat, tanah itu akan mengalami likuifaksi. Selain dari jenis tanah, kedalaman muka air tanah juga mempengaruhi kerentanan terhadap likuifaksi, semakin dangkal muka air tanah maka akan semakin rentan (Hutagalung dan Dertha, 2019).

Petobo merupakan salah satu daerah di Kota Palu, Sulawesi Tengah yang mengalami dampak likuifaksi terparah, dengan luas area terlikuifaksi yakni 1040 hektar (Hidayat dkk., 2020). Tampilan citra satelit sebelum dan sesudah likuifaksi dapat dilihat pada gambar II.3.



Gambar II.3 Citra satelit sebelum dan setelah likuifaksi di Petobo
(Hidayat dkk., 2020).

II.3 Gelombang Seismik

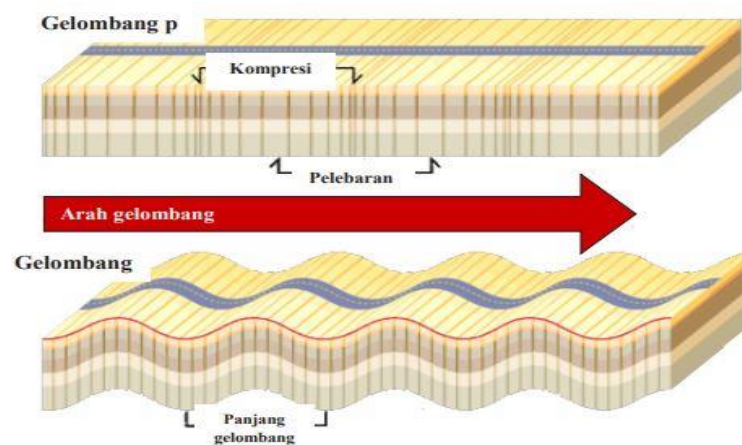
Gelombang seismik adalah gelombang mekanik yang merambat dari satu tempat ke tempat lain di mana bumi sebagai mediumnya. Gelombang seismik dapat terjadi karena adanya sumber gelombang seismik buatan seperti bahan peledak, *wieght drop*, maupun Vibroseis (Telford dkk., 1970). Gelombang seismik disebut juga gelombang elastik karena osilasi partikel-partikel medium terjadi akibat interaksi antara *gradien stress* dan gaya elastic (Munadi, 2000).

Perambatan energi gelombang seismik disebabkan oleh gangguan pada kerak bumi, seperti patahan atau ledakan energi. Energi ini akan menyebar ke seluruh bagian bumi dan dapat terekam oleh seismometer. Efek gelombang seismik yang disebabkan oleh gangguan alam (seperti pergerakan lempeng (tektonik), pergerakan sesar, aktivitas vulkanik (gunung berapi), dll.) dikenal sebagai gempa bumi (Hurriyah, 2013). Gelombang seismik dibagi menjadi dua bagian yaitu gelombang permukaan dan gelombang badan (Zuhdi dkk., 2021)

II.3.1 Gelombang Badan (*Body Wave*)

Gelombang badan adalah gelombang seismik yang merambat melalui bagian dalam bumi. Gelombang badan merambat secara cepat, baik sebagai gelombang P maupun gelombang S. Frekuensinya berkisar pada 0,5 hingga 20 Hz, sehingga disebut juga sebagai gelombang periode pendek (Husein, 2016).

Gelombang badan terbagi menjadi dua tipe gelombang, yakni gelombang primer (P) dan gelombang sekunder (S). Gelombang P merambat lebih cepat dan datang pertama kali serta frekuensinya lebih tinggi. Sedangkan tipe kedua yaitu gelombang S, gelombang ini datang setelah gelombang P dan ditandai dengan amplitudo yang lebih besar dari gelombang P. Frekuensi dari gelombang S lebih rendah dengan periodenya berkisar antara 11 sampai 13 ms (Afnimar, 2009).



Gambar II.4 Penjalaran gelombang P dan gelombang S (Haerudin dkk., 2019).

Perbedaan penjalaran gelombang P dan gelombang S ditunjukkan pada gambar II.4 di mana arah penjalaran gelombang P sejajar dengan arah rambat gelombang, sedangkan arah penjalaran gelombang S tegak lurus dengan arah rambat gelombang. Gelombang S ini tidak dapat merambat pada medium cair.

Kecepatan gelombang P (V_p) dan kecepatan gelombang S (V_s) dapat dituliskan sebagai berikut (Zuhdi dkk., 2021):

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

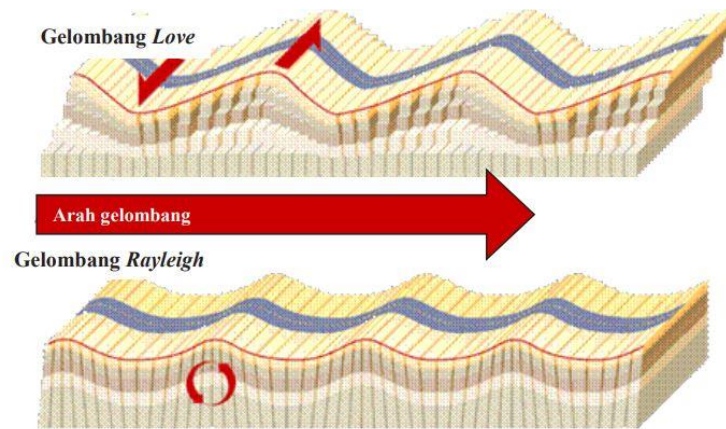
$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2.2)$$

dimana V_p adalah kecepatan gelombang P, V_s adalah kecepatan gelombang S, μ adalah konstanta Lamé, λ adalah rigiditas atau kekakuan batuan, dan ρ adalah densitas atau kerapatan batuan. Satuan dari V_p dan V_s adalah km/s.

II.3.2 Gelombang Permukaan (*Surface Wave*)

Gelombang permukaan merupakan gelombang panjang yang merambat di permukaan bumi. Penjalaran gelombang permukaan lebih lambat dibandingkan dengan gelombang badan, namun kerusakan yang disebabkan lebih besar. Gelombang permukaan terdiri dari 2 jenis yaitu gelombang Rayleigh dan gelombang Love (Lowrie, 2007). Ada dua macam gelombang permukaan yaitu gelombang Rayleigh dan gelombang Love. Gelombang Rayleigh merupakan gelombang permukaan yang gerak partikel medianya yakni sebuah kombinasi gerakan partikel yang diakibatkan oleh gelombang P dan S. Gelombang Rayleigh dihasilkan oleh sumber gerak mekanis alami dan buatan manusia, seperti tanah longsor, gempa bumi, ledakan, getaran lalu lintas, dan getaran yang disebabkan oleh mesin berat. Hampir 70 % energi perambatan yang dihasilkan oleh sumber mekanik gelombang merupakan energi gelombang Rayleigh (Richart dkk., 1997). Orbit gerakan partikel dari gelombang permukaan yaitu berupa gerakan eliptik dengan

sumbu mayor ellips tegak lurus terhadap permukaan dan tegak lurus terhadap arah penjalarannya.



Gambar II.5 Penjalaran gelombang *Rayleigh* dan gelombang *Love* (Haerudin dkk., 2019).

Gelombang *Love* dan gelombang *Rayleigh* menjalar di sepanjang permukaan bumi (lapisan batas diskontinuitas antara kerak dan mantel bumi). Penjalaran kedua gelombang ini dapat dilihat pada gambar II.5. Amplitudo gelombang *rayleigh* dan gelombang *love* merupakan yang terbesar dipermukaan dan bisa mengecil secara eksponensial terhadap suatu kedalaman. Maka dari itu, gempa bumi dengan kedalaman yang dangkal, amplitudo gelombang *love* dan amplitudo gelombang *rayleigh* akan mendominasi (Haerudin dkk., 2019).

II.4 Mikrozonasi Seismik

Mikrozonasi adalah proses pembagian wilayah berdasarkan parameter seismik untuk memperkirakan respon lapisan tanah atau sedimen terhadap gempa bumi. Setiap wilayah memiliki tingkat kerawanan yang berbeda-beda karena kondisi geologi yang berbeda. Besarnya kerusakan akibat gempa dipengaruhi oleh besarnya getaran atau gelombang permukaan yang mencapai daerah tersebut.

Gelombang permukaan dapat dilihat dari tinggi rendahnya amplitudo gelombang seismik. Nilai amplifikasi gempa dinyatakan dengan tinggi rendahnya nilai amplitudo gelombang. Daerah yang termasuk dalam kategori rawan gempa adalah daerah yang memiliki kemampuan untuk memperkuat guncangan atau memperluas daerah tanah yang luas (Saman dkk., 2017). Parameter-parameter seismik yang biasa digunakan untuk mikrozonasi yakni kecepatan gelombang geser di kedalaman 30 meter (V_{s30}), frekuensi dominan (f_0), amplifikasi tanah (A_0), *peak ground acceleration* (α), indeks kerentanan tanah (K_g), dan *ground shear strain* (γ). Nilai dari parameter-parameter tersebut dapat memberikan informasi tentang potensi bencana seismik di wilayah tertentu (Haerudin dkk., 2019). Mikrozonasi seismik dalam pengembangannya tidak hanya ditujukan untuk memetakan bahaya atau wilayah rawan gempabumi, bisa juga digunakan sebagai acuan dalam konstruksi bangunan di daerah yang aktivitas seismiknya tinggi (Januarta dkk., 2020).

Mikrozonasi dapat dilakukan dengan menerapkan metode interpolasi (Srivastava et al., 2019). Menurut Abdelaal (2019), interpolasi merupakan suatu metode yang menduga nilai pada lokasi-lokasi yang datanya tidak tersedia. Proses interpolasi ini digunakan untuk menghasilkan pola dari suatu kumpulan data. Salah satu metode interpolasi yang sering digunakan yaitu metode *spline*, metode ini mampu menghasilkan akurasi pola yang cukup baik walaupun data yang digunakan hanya sedikit. Kelebihan dari metode interpolasi *spline* ini adalah karakteristik interpolasi sesuai dengan batasan data yang dimasukkan dalam proses interpolasi (Pasaribu dan Haryani, 2012).

II.5 Mikrotremor

Mikrotremor merupakan getaran konstan permukaan bumi yang bergerak pada frekuensi seismik (Okada, 2003). Mikrotremor adalah getaran tanah dengan amplitudo rendah yang disebabkan oleh berbagai penyebab alami seperti angin, gelombang laut, dan kebisingan kendaraan. Mikrotremor adalah getaran dengan amplitudo sekitar 0,1-1 mikron dan amplitudo kecepatan 0,0001-0,01 cm/s, yang dapat dideteksi menggunakan seismograf tertentu (Mirzaoglu and Dýkmen, 2003). Penelitian mikrotremor pertama kali dilakukan pada tahun 1908 oleh Omori, pada tahun 1961 Kanai dan Tanaka mengusulkan rekayasa microtremor, dan pada tahun 1970 Nagoshi dan Igarashi mengusulkan metode microtremor menggunakan rasio spektral *horizontal to vertical*. Kemudian pada tahun 1989 Nakamura memulai mengembangkan dan mempopulerkan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) (Mudamakin dkk., 2015).

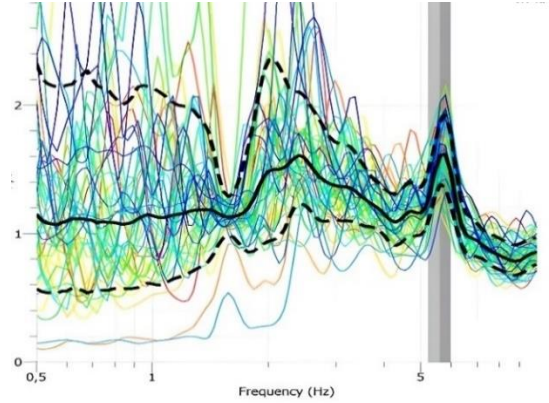
Mikrotremor juga dikenal sebagai getaran alam (*ambient vibration*), berasal dari dua sumber utama yaitu alam dan manusia. Pada frekuensi rendah di bawah 1 Hz, sumber mikrotremor adalah berasal dari alam. Gelombang laut menimbulkan getaran pada frekuensi sekitar 0,2 Hz, sedangkan interaksi antara gelombang laut dan pantai menghasilkan frekuensi sekitar 0,5 Hz. Pada frekuensi di bawah 0,1 Hz, mikrotremor dikaitkan dengan aktivitas atmosfer. Frekuensi tinggi di atas 1 Hz dapat ditimbulkan oleh angin dan arus air. Pada frekuensi lebih dari 1 Hz, sumber utamanya adalah aktivitas manusia seperti, lalu lintas kendaraan, mesin, dll. Lokasi sumber biasanya di permukaan tanah (SESAME European Project, 2004). Pengukuran getaran mikrotremor dapat memperkirakan pengaruh geologi

permukaan terhadap gerakan seismik. Dalam memperkirakan pengaruh geologi tersebut, pengukuran mikrotremor berguna untuk mendeteksi struktur batuan di bawah permukaan (Nakamura, 2000).

II.6 Metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*)

Metode pengolahan mikrotremor ini dipopulerkan oleh Nakamura (1989). Metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) merupakan metode sederhana yang dapat menggambarkan struktur dan sifat dinamis tanah. Rasio spektral H/V adalah perkiraan rasio antara spektrum amplitudo komponen getaran horizontal dan vertikal (Mudamakin dkk., 2015).

Metode HVSR merupakan proses yang efektif, murah, ramah lingkungan yang dapat digunakan di daerah pemukiman. Metode HVSR menggunakan data pengukuran seismik pasif (mikrotremor) tiga komponen. Metode HVSR menghasilkan kurva HVSR, dapat dilihat pada gambar II.6, dari kurva ini didapatkan dua parameter penting yakni frekuensi dominan dan amplifikasi. Kedua parameter tersebut berkaitan dengan parameter fisik bawah permukaan sehingga dapat digunakan untuk karakterisasi geologi (Herak, 2008). Secara teoritis, pada tanah lunak, komponen gerak partikel horizontal lebih besar daripada komponen vertikal, sedangkan pada tanah keras komponen vertikal dan horizontal memiliki nilai yang sama (Syamsuddin dan Assegaf, 2021).



Gambar II.6 Kurva HVSR (Koesuma dkk., 2019)

Pada metode HVSR, terdapat dua data komponen horizontal dan satu data komponen vertical. Dalam proses pemodelan kurva HVSR, data sinyal yang diperoleh dari setiap komponen merupakan sinyal dalam domain waktu, untuk itu dilakukan transformasi Fourier untuk mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi. Proses transformasi ini dirumuskan sebagai berikut (Syamsuddin dan Assegaf, 2021):

$$x(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt$$

$$x(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cos(2\pi ft) dt - j \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \sin(2\pi ft) dt \quad (2.3)$$

$x(t)$ adalah fungsi sinyal dalam domain frekuensi, $x(t)$ adalah fungsi sinyal dalam domain waktu, $-j2\pi ft$ adalah fungsi kernel, dan f adalah frekuensi. Hasil transformasi sinyal dari ketiga komponen ini kemudian dirumuskan dalam persamaan berikut (Krylov dkk., 2022):

$$HVSR = \frac{\sqrt{H_{NS}^2 + H_{EW}^2}}{V_{UD}} \quad (2.4)$$

dimana H_{NS} adalah spektrum komponen horizontal *north-south*, H_{EW} adalah spektrum komponen horizontal *east-west*, dan V_{UD} adalah spektrum komponen *up-down*.

II.7 Parameter-parameter Rasio *Spectral HV*

Parameter-parameter rasio *spectral HV* didapatkan dari pemodelan kurva HVSR yaitu frekuensi dominan (f_0) dan amplifikasi tanah (A_0) (Saman dkk., 2017).

II.7.1 Frekuensi Dominan (f_0) dan Periode Dominan (T_0)

Frekuensi natural atau frekuensi dominan adalah frekuensi yang kerap kali muncul pada suatu daerah dan dianggap sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan di daerah tersebut (Arifin dkk., 2014). Frekuensi dominan ini didapatkan dari pengolahan HVSR yang nilainya dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik batuan dari suatu daerah. Apabila terjadi gempa yang memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi dominan, maka akan terjadi resonansi yang mengakibatkan amplifikasi gelombang seismik di area tersebut. Nilai frekuensi natural (f_0) suatu wilayah menurut Mucciarelli dan Gallipoli (2001) dapat ditulis dengan persamaan berikut:

$$f_0 = \frac{V_b}{4A_0H} \quad (2.5)$$

dengan f_0 adalah frekuensi natural, V_b adalah nilai rata-rata kecepatan gelombang geser pada batuan dasar, A_0 adalah amplifikasi, dan H adalah ketebalan lapisan lapuk. Hasilnya menunjukkan nilai puncak frekuensi berubah terhadap variasi geologi. Klasifikasi dari nilai periode dominan dan frekuensi dominan menurut Kanai dapat dilihat pada Tabel II.1.

Tabel II.1 Klasifikasi Nilai Frekuensi Dominan dan Periode Dominan Oleh Kanai (BMKG, 1998).

Klasifikasi Tanah	Frekuensi Dominan (Hz)	Periode Dominan (Hz)	Klasifikasi	Deskripsi
Jenis I	10-20	0,05-0,15	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>Hard sandy gravel</i> , dll	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras
Jenis II	4-10	0,10-0,25	Batuan alluvial, dengan ketebalan 5 m. Terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i> , dll	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5-10 meter
Jenis III	2,5-4	0,25-0,40	Batuan alluvial, dengan ketebalan >5m. Terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10-30 meter
Jenis IV	<2,5	>0,40	Batuan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpur,dll.	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal dengan kedalaman 30 meter atau lebih

Periode dominan adalah waktu yang diperlukan gelombang mikrotremor merambat pada lapisan endapan sedimen permukaan. Nilai periode dominan juga dapat menunjukkan karakteristik suatu lapisan di bawah permukaan pada wilayah tertentu (Arifin, dkk., 2014). Nilai periode dominan didapatkan berdasarkan perhitungan sebagai berikut:

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

Untuk T_0 adalah periode dominan dan f_0 frekuensi dominan.

II.7.2 Amplifikasi Tanah (A_0)

Amplifikasi merupakan peristiwa penguatan suatu gelombang ketika melewati suatu medium tertentu (Zhu dkk., 2020). Amplifikasi gelombang bisa terjadi ketika gelombang merambat ke permukaan tanah dimana frekuensi natural (f_0) tanah tersebut memiliki nilai frekuensi yang hampir sama atau sama dengan frekuensi gelombang yang datang (Rong dkk., 2017). Perbandingan antara karakteristik sinyal horizontal terhadap sinyal vertikal berbanding lurus dengan amplifikasi gelombang pada saat melalui suatu medium (Arifin et al., 2014).

Menurut Nakamura (2000), amplifikasi dapat terjadi akibat dari adanya perbesaran gelombang seismik karena perbedaan yang mencolok antar lapisan. Artinya gelombang seismik akan mengalami perbesaran jika melalui medium yang lebih lunak dari pada medium awal yang dilaluinya. Jika semakin besar perbedaan itu maka perbesaran gelombang juga semakin besar pula. Nilai penguatan amplifikasi tanah berkaitan dengan kontras impedansi lapisan dipermukaan dan lapisan dibawahnya. Apabila kontras impedansi kedua lapisan tersebut tinggi maka terjadi faktor penguatan yang tinggi pula, begitupun sebaliknya. Sehingga dikaitkan antara fungsi perbandingan kontras impedansi sebagai berikut:

$$A_0 = \frac{\rho_b V_b}{\rho_s V_s} \quad (2.7)$$

Di mana untuk A_0 adalah faktor amplifikasi, ρ_b adalah densitas batuan dasar (m/s), V_b adalah kecepatan rambat gelombang batuan dasar (m/s), ρ_s adalah Densitas batuan lunak (m/s), V_s adalah kecepatan rambat gelombang batuan lunak (m/s). Jika

densitas basement dan lapisan permukaan sama, Nakamura (2000) merumuskan faktor amplifikasi sebagai berikut:

$$A_0 = \frac{V_b}{V_s} \quad (2.8)$$

dimana A_0 faktor amplifikasi, V_b kecepatan gelombang geser pada batuan dasar (basement), dan V_s kecepatan gelombang geser pada lapisan sedimen. Klasifikasi nilai amplifikasi tanah bisa dilihat pada Tabel II.2.

Tabel II.2 Klasifikasi Nilai Amplifikasi (Sitorus dkk., 2017).

Zona	Klasifikasi	Nilai Faktor Amplifikasi
1	Rendah	$A_0 < 3$
2	Sedang	$3 \leq A_0 < 6$
3	Tinggi	$6 \leq A_0 < 9$
4	Sangat Tinggi	$A_0 \geq 9$

II.8 Indeks Kerentanan Tanah (K_g)

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

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

dengan A_0 adalah amplifikasi dan f_0 adalah frekuensi dominan. Nilai K_g 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 K_g yang kecil umumnya ditemukan pada tanah dengan

batuan penyusun yang kuat dan stabil sehingga saat terjadi gempa, daerah tersebut hanya mengalami guncangan yang kecil. Klasifikasi nilai K_g dapat dilihat pada Tabel II.3.

Tabel II.3 Klasifikasi Nilai Indeks Kerentanan Tanah (K_g) (Akkaya, 2020).

Zona	Klasifikasi	Nilai Indeks Kerentanan Tanah
1	Rendah	$K_g \leq 3$
2	Sedang	$3 < K_g \leq 5$
3	Tinggi	$5 < K_g \leq 10$
4	Sangat Tinggi	$K_g \geq 10$

II.9 *Peak Ground Acceleration* (α)

Peak Ground Acceleration atau percepatan tanah maksimum adalah parameter yang menyatakan perubahan kecepatan mulai dari keadaan diam sampai pada kecepatan tertentu. Percepatan getaran tanah maksimum adalah nilai percepatan getaran tanah yang terbesar yang pernah terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gempabumi. Semakin besar nilai PGA yang pernah terjadi disuatu tempat, semakin besar bahaya dan resiko gempa bumi yang mungkin terjadi.

Percepatan tanah adalah faktor utama yang mempengaruhi konstruksi bangunan dan menimbulkan momen gaya yang terdistribusikan merata di titik-titik bangunan, sehingga percepatan tanah merupakan titik tolak perhitungan bangunan tahan gempa. Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung nilai PGA yaitu persamaan empiris oleh Fukushima dan Tanaka (1990):

$$\log \alpha = 0.41M_s + \log(R + 0.032 \times 10^{0.41M_s}) - 0.0034R + 1.30 \quad (2.10)$$

dimana α adalah PGA (g), M_s adalah magnitude gelombang permukaan (SR) dan R adalah jarak hiposenter ke titik pengukuran. Untuk menghitung nilai R sendiri digunakan teorema Pythagoras:

$$R = \sqrt{\Delta^2 + h^2} \quad (2.11)$$

Dengan Δ adalah jarak episenter ke titik pengukuran dan h adalah hiposenter. Klasifikasi tingkat resiko bahaya gempa bumi berdasarkan nilai PGA dapat dilihat pada Tabel II.4.

Tabel II.4 Klasifikasi Tingkat Resiko Bahaya Gempa Bumi (Fauzi, 2001).

Tingkat Resiko	Nilai PGA (gal)
Sangat Kecil	0 – 25
Kecil	25 – 50
Sedang	50 – 125
Besar	125 – 300
Sangat Besar	> 300

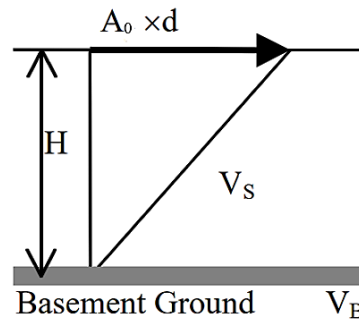
II.10 Ground Shear Strain (γ)

Menurut Nakamura (2000) parameter yang mempengaruhi nilai ground shear strain (γ) adalah indeks kerentanan tanah (K_g) yang disebabkan oleh deformasi lapisan permukaan (d) dan percepatan gelombang seismik pada batuan dasar (α) yang mengalami penguatan jika merambat pada medium yang densitasnya lebih rendah dalam hal ini adalah lapisan tanah permukaan. *Ground shear strain* pada lapisan tanah permukaan menggambarkan kemampuan material lapisan tanah untuk saling meregang atau bergeser saat terjadi gempabumi. *Ground shear strain* dinotasikan dengan γ . Semakin besar nilai ground shear strain akan menyebabkan lapisan tanah semakin mengalami deformasi seperti likuifaksi, rekahan tanah

maupun longsor. Besarnya nilai shear strain dapat diestimasi menggunakan persamaan (Nakamura, 2000):

$$\gamma = A_0 \frac{d}{H} \quad (2.12)$$

dengan γ merupakan nilai *ground shear strain*, A_0 merupakan amplifikasi, d merupakan deformasi permukaan tanah, dan H merupakan ketebalan lapisan. Deformasi regangan geser pada permukaan tanah dapat dilihat pada gambar II.7.



Gambar II.7 Deformasi regangan geser di permukaan tanah (Nakamura, 1997).

untuk nilai deformasi (d) dapat diperoleh dari persamaan berikut (Nakamura, 2000):

$$d = \frac{\alpha}{(2\pi f_0)^2} \quad (2.13)$$

dimana α merupakan percepatan tanah maksimum (PGA) dan f_0 merupakan frekuensi dominan. Ketebalan lapisan dapat diperoleh dari persamaan (2.4), sehingga didapatkan

$$H = \frac{V_b}{4A_0 f_0} \quad (2.14)$$

jika persamaan (2.12) dan (2.13) disubstitusikan ke persamaan (2.11) maka diperoleh persamaan *ground shear strain* (γ) sebagai berikut:

$$\gamma = \frac{A_0 \left(\frac{\alpha}{(2\pi f_0)^2} \right)}{\frac{V_b}{f_0^4 A_0}}$$

$$\gamma = \frac{A_0^2 \alpha}{f_0 \pi^2 V_b} \quad (2.15)$$

kemudian mensubstitusi persamaan (2.8) ke persamaan (2.14), maka diperoleh:

$$\gamma = \frac{K_g \alpha}{\pi^2 V_b} \quad (2.16)$$

besarnya nilai V_b (kecepatan pada batuan dasar) di suatu wilayah secara umum adalah mendekati nilai konstan, Nakamura (2000) mengasumsikan nilai $V_b = 600$ m/s. Nilai *ground shear strain* pada permukaan tanah perlu diperhatikan, permukaan tanah yang memiliki nilai *ground shear strain* di atas 10^{-3} akan mengalami deformasi non-linear. Sementara itu, jika nilai *ground shear strain* lebih dari 10^{-2} maka lapisan tanah akan mengalami deformasi runtuh. Tabel II.5 menjelaskan fenomena yang terjadi pada tanah berdasarkan nilai regang geser tanah.

Tabel II.5 Fenomena dan Efek Dinamis dari Nilai GSS (Nakamura, 1997).

Nilai GSS	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
Fenomena	Gelombang, Getaran		Rekahan, Penurunan Tanah		Longsor, kompaksi, likuifaksi	
Sifat Dinamis	Elastisitas		Elasto-plastis		Runtuh	
			Efek pengulangan			