

Skripsi Geofisika

**KAJIAN NILAI REGANGAN GESER DAN SIFAT DINAMIS TANAH
BERDASARKAN DAMPAK GEMPA PALU 2018**



OLEH:

ZEFANYA EVELINE SHARON KAILEM

H061181013

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

2022

**KAJIAN NILAI REGANGAN GESER DAN SIFAT DINAMIS TANAH
BERDASARKAN DAMPAK GEMPA PALU 2018**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains

Pada Departemen Geofisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin

OLEH:

ZEFANYA EVELINE SHARON KAILEM

H061181013

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

2022

HALAMAN PENGESAHAN

**KAJIAN NILAI REGANGAN GESER DAN SIFAT DINAMIS TANAH
BERDASARKAN DAMPAK GEMPA PALU 2018**

Disusun dan diajukan oleh

ZEFANYA EVELINE SHARON KAILEM

H061181013

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 18 November 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Ir. Bambang Harizmi, M.Si.
NIP.196105011991031003

Pembimbing Pertama



Muhammad Fawzy Ismullah M., S.Si., M.T
NIP. 199111092019031010

Mengetahui,

Ketua Departemen Geofisika



Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M. Eng.
NIP. 196709291993031003

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Zefanya Eveline Sharon Kailem
NIM : H061181013
Departemen : Geofisika
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya yang berjudul:

**“KAJIAN NILAI REGANGAN GESER DAN SIFAT DINAMIS TANAH
BERDASARKAN DAMPAK GEMPA PALU 2018”**

merupakan hasil karya saya 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 Tim Pembimbing dan masukan Tim Penguji.

Makassar, 18 November 2022

Yang Menyatakan,



Zefanya Eveline Sharon Kailem

SARI BACAAN

Letak Kota Palu yang berada di jalur Sesar Palu Koro menjadikannya sebagai daerah dengan tingkat seismisitas tinggi ditandai dengan beberapa gempa besar yang terjadi, salah satunya adalah Gempa Palu pada 28 September 2018. Gempa tersebut merupakan salah satu gempa di Indonesia yang menimbulkan dampak permukaan yang kompleks dari retakan tanah hingga likuifaksi. Kerusakan akibat gempa dapat diminimalisir dengan melakukan upaya mitigasi berupa pemetaan daerah-daerah yang memiliki tingkat kerentanan tanah yang tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan nilai batas regangan geser khususnya pada skala respon dinamis tanah yang berupa retakan dan rekahan agar pemetaan yang dilakukan relevan dan dapat menginterpretasikan dengan baik karakteristik dinamis tanah Kota Palu. Penelitian ini didasarkan pada korelasi antara dampak Gempa Palu 2018 dengan hasil pengukuran mikrotremor menggunakan analisis *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR). Berdasarkan hasil korelasi menggunakan regresi linear sederhana didapatkan nilai *threshold* regangan geser tanah, pada rentang nilai GSS $\gamma < 6 \times 10^{-4}$ mengindikasikan dampak permukaan hanya berupa penjarangan gelombang gempa dan tidak menimbulkan kerusakan pada permukaan (tidak ada deformasi). Retakan tanah terjadi pada rentang nilai GSS $6 \times 10^{-4} - 1.8 \times 10^{-3}$ dengan potensi kerusakan yang kecil, sedangkan dampak permukaan berupa rekahan tanah berada pada rentang $1.8 \times 10^{-3} - 3.4 \times 10^{-3}$. Besarnya nilai regangan geser tanah suatu wilayah bergantung pada morfologi dan geologi lokal yang menjelaskan mengenai bentuk permukaan, karakteristik batuan dan ketebalan lapisan sedimen wilayah tersebut. Hasil dari penelitian ini dapat dijadikan referensi dalam upaya mitigasi dan pembangunan Kota Palu di masa mendatang.

Kata Kunci: Kota Palu, mikrotremor, HVSR, regangan geser tanah, *threshold*.

ABSTRACT

Geographically, Palu City is located on the Palu Koro Fault, which makes it as an area with high seismicity where several major earthquakes have occurred, including the one on September 28, 2018. This earthquake is one of the largest in Indonesia and causes complex damage, from ground cracks to liquefaction. Damage from earthquakes can be minimized by carrying out mitigation efforts such as mapping areas that have a high level of vulnerability. The aims of this study are to determine the value of the shear strain threshold, especially for the dynamic response scale of the ground in cracks and fracturing, so that the mapping carried out is relevant and can interpret well the ground dynamic characteristics of Palu City. This study correlates the impact of the Palu earthquake in 2018 with the results of microtremor measurements using Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) analysis. Based on the correlation results using simple linear regression, the threshold values of ground shear strain were obtained, in the range of GSS values $\gamma < 6 \times 10^{-4}$ indicated that the surface impact was only earthquake wave propagation and did not cause damage to the surface (no deformation). Ground cracks occur in the range of GSS values $6 \times 10^{-4} - 1.8 \times 10^{-3}$ with a small potential for damage, while the surface impact of ground fractures is in the range of $1.8 \times 10^{-3} - 3.4 \times 10^{-3}$. The distribution of ground shear strain values in a region depends on the local morphology and geology that explain the shape of the surface, rock characteristics, and the thickness of the sedimentary layer in the region. The results of this research can be used as a reference in efforts to mitigate and develop Palu City in the future.

Keyword: Palu City, microtremor, HVSr, ground shear strain, threshold

KATA PENGANTAR

Puji syukur tak terkira Penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yesus Kristus atas segala kasih dan karunia-Nya yang telah memberikan hikmat, kekuatan dan kesehatan sehingga Penulis dapat melakukan penelitian dan menyelesaikan penulisan Tugas Akhir dengan judul “**Kajian Nilai Regangan Geser dan Sifat Dinamis Tanah Berdasarkan Dampak Gempa Palu 2018**”. Ucapan terima kasih yang setinggi-tingginya Penulis haturkan kepada kedua orang tua, Bapak **Dirk David Kailem** dan Ibu **Ludia Limbong** untuk setiap kasih sayang, doa dan motivasinya, serta saudari tercinta **Lenny Ivana Abigail Kailem** yang selalu memberikan dukungan kepada Penulis.

Dalam masa studi hingga penyelesaian Tugas Akhir ini tentunya tidak lepas dari bimbingan dan bantuan berupa saran dan kritik yang membangun dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih juga Penulis berikan kepada:

1. Bapak **Ir. Bambang Harimei, M.Si** selaku Pembimbing Utama yang selalu meluangkan waktu dan memberikan ilmu, kritik dan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Bapak **Muh. Fawzy Ismullah M., S.Si., M.T** selaku Pembimbing Pertama yang senantiasa menuntun dalam mengerjakan dan memahami konsep dari Tugas Akhir Penulis.
3. Bapak **Sofian, S.Si** selaku Pembimbing Kedua, terima kasih untuk kesabarannya dalam membimbing Penulis dari akuisisi hingga pengolahan data.

4. Bapak **Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, MT, Surv. IPM** dan Ibu **Makhrani, S.Si., M.Si** selaku Dosen Penguji yang telah memberikan ilmu, kritik dan masukan yang membangun bagi Penulis untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
5. Bapak **Dr. Sakka, M.Si** selaku Pembimbing Akademik yang selalu memberikan masukan yang membangun selama Penulis menjalani pendidikan di Universitas Hasanuddin, serta seluruh Dosen Departemen Geofisika FMIPA Unhas untuk setiap ilmu yang diberikan pada Penulis.
6. Bapak **Hendrik Leopatty, S.Si** selaku Pembimbing Lapangan serta seluruh staf Stasiun Geofisika Kelas I Palu untuk segala kebaikan hatinya membantu Penulis dalam pengambilan data di lapangan, serta ilmunya dalam penulisan Tugas Akhir ini.
7. Keluarga tercinta Penulis terkhusus untuk Tante **Oktavien Ola Kailem**, terima kasih sudah menjadi orang tua kedua bagi Penulis selama masa kuliah.
8. **Iswatun Khazanah** dan **Jihan Faruk Zubedi**, terima kasih telah menjadi teman berbagi dalam suka dan duka selama masa perkuliahan, mari berteman lebih lama.
9. Teman-teman **Sektor Pelangi, Iis, Jihan, Fya, Mute, Angput dan Andri**, terima kasih telah menjadi teman Penulis dari awal perkuliahan hingga saat ini.
10. Member **Basecamp Salama', Marni, Iis, Wilda, Fira, Sri, Aini, Onding, Jojo, Fya, Jihan, Ainul dan Irma**, terima kasih untuk setiap cerita dan pelajaran hidup selama perkuliahan, Penulis bangga punya kalian.
11. **Tim TA Palu, Iis, Kiki dan Mute**, terima kasih telah menjadi teman berbagi selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini.

12. **Penghuni Kamar 107, Ilmi, Iis, dan Jihan**, terima kasih untuk setiap kesan indah selama semester akhir Penulis.
13. Saudara tak sedarah Penulis **HIMAFI 2018, Iis, Jihan, Fya, 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, Dede, Justin, Hadi, Patan, Tater, Mulyanto, Hasnan, Heral, Ipul, Uci, Azlan, Sarwan, Wawan, Pian, Agung, Komang, Masdar, Yusran, Yansen, Syahrul, Indra, Slengos, Rana, Izzah, Afni, Dilla, Yusril dan Fauzan**. Terima kasih telah berproses bersama Penulis selama masa perkuliahan, tetap **“Satu Tekad Taklukkan Waktu”**.
14. Teman-teman **MIPA 2018**, khususnya **Pengurus BEM FMIPA Unhas Periode 2021/2022, Jalil, Dede, Alif, Milen, Chand, Lutfi, Andri, Yusuf, Heral, El, Icha, Pitto, Ninis, Geby, Wilda, Juni, Uci, Ardi, Azlan, Ipul, Syahrul, Kido, Onding, Marni, Wildawati, Umar, Hasnan, Aldo, Fina, Maya, Aqila, Acam, Justin, Inul, Agung, Farhan, Komang, Ail, Sarwan, Wawan, 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, dan Vika**. Terima kasih atas kebersamaannya dari Maba hingga saat ini, salam **“Use Your Mind Be The Best”** dan **“Takkan Pudar”**.

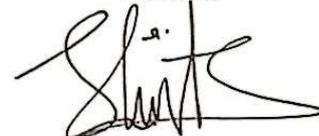
15. Terima kasih pada **Kakak MIPA 2015 (Kak Nuge, Kak Gustamin, Kak Novi, Kak Risna, Kak Hafis, Kak Erfi, dll.)** selaku Pengurus BEM Penulis, **Kakak HIMAFI 2016 (Kak Arif, Kak Winda, Kak Mute, Kak Arya, Kak Ulla, Kak Ayyub, Kak Hasrina, dll.)** selaku Pengurus Himpunan Penulis, dan **Kakak HIMAFI 2017 (Kak Ate', Kak Uci, Kak Zahra, Kak Azhardi, Kak Angga, Kak Ardi, Kak Zahari, Kak Ale dll.)** selaku Panitia yang telah banyak mengajarkan hal baik pada Penulis.
16. Adik-adik **HIMAFI-HMGF 2019, Galib, Arsyih, Kamil, Haikal, Devi, Diki, Sarni, Patio, Nismul, Nude, Haerul, Cindy, Haidir, Alif, Ismi, Afikah, Lida, Indah, Mey, Dahlia, Akbar, Suleha, Jinaan, Kiya, Habib, Ila, Asyifah, Pipit, Ayul, Risda, Caca, Sindy, Dian, Fausta, Jack, Muji, Nanda, Yuli, Ashar, Sekar, Tiara, Dominikus, Gorki, Riman, Muly, Nur, Ita, Yusri, Jimbo, Alya, Nurul, Fara, Ikram, Israil, Asira, Nara, Rati B, Pitti, Ratih, Eni, Hajrul, Sire, Umni, Hajar, Tiche, Gisel, Mutiara, Rara, Gunawan, Mahar, Ririn, Enjel, Jasmine, Maria, Hartini, Yoriska, Agus, Nabila, Daya, Risma, Yuni, Salsa, Elivia, Atul, Septi, Lela, Dollo, dan Azizah.** Terima kasih sudah memberikan kesan yang indah ketika Penulis menjalani kepanitiaan di Himafi dan HMGF FMIPA Unhas, tetap **“Bangkit dan Buktikan”**.
17. Adik-adik **T20POSFER, Alghi, Toktok, Astri, Asmawan, Faiz, Guntur, Imran, Alif, Dayat, Ema, Aini, Aza, Asi, Echa, Angel, Ima, Mela, Lola, Resty, Gloria, Jane, Nisfit, Hasna, Rezky, Qalbi, Wulan, Mifta, Aan, Umi, Milka, Selfi, Aurel, Sandra, Regita, Indah, Fira, Merlia, Ica, Cholis,**

18. **Magfirah, Datu, Emmi, Izzah, Tazkia, Ansyah, Yudi, Ical, Awi, Yonas, Agung, Rianul, Dirham, Ila, Defina, Wikal, Gery, Hamman, Nikom, Rizka, Arpah dan Ihsan.** Terima kasih telah menjadi adik-adik yang baik selama Penulis menjadi Pengurus HMGF FMIPA Unhas, jaga terus kebersamaannya dan tetap **“Bersama Satukan Langkah”**.
19. Terima kasih pula untuk 419 adik-adik **MIPA 2021** untuk setiap pengalaman berharga selama Penulis menjadi Pengurus BEM FMIPA Unhas, tetap **“Satu Asa Nyala Bersama”**.
20. Kakak-kakak, teman-teman, dan adik-adik seiman di **GMKI Komisariat FMIPA Unhas**, terima kasih untuk doa, dukungan dan pengalaman rohaninya selama Penulis menempuh pendidikan di Universitas Hasanuddin.
21. **Blackpink, Ikon, SNSD, Super Junior, EXO, 2ne1, BigBang, The Eastlight, Treasure, Red Velvet, TWICE, SMF, SWF**, terima kasih untuk setiap karya indah yang membuat Penulis semangat menjalani hidup.
22. Anjing kesayangan, **Harley, Pluto, Doggie dan Blacky**, terima kasih telah menjadi teman setia Penulis.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini tentunya memiliki kekurangan, oleh karena itu Penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi Penulis maupun pembaca di masa mendatang.

Makassar, 18 November 2022

Penulis



Zefanya Eveline Sharon Kailem
H061181013

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
SARI BACAAN	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Ruang Lingkup.....	4
I.4 Tujuan Penelitian.....	4
I.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
II.1 Kondisi Geologi dan Tatanan Tektonik Kota Palu	6
II.2 Gempa Bumi	8
II.3 Gelombang Seismik.....	9
II.4 Mikrotremor.....	11
II.5 Metode <i>Horizontal to Vertical Spectra Ratio</i> (HVSr).....	11
II.5.1 Transformasi Fourier.....	14

II.5.2 <i>Smoothing</i>	15
II.5.3 Kurva HVSR	16
II.6 Parameter dan Karakteristik Dinamika Tanah.....	17
II.6.1 Frekuensi Dominan (f_0).....	18
II.6.2 Faktor Amplifikasi (A_0)	19
II.6.3 Indeks Kerentanan Seismik dan <i>Ground Shear Strain</i>	20
II.6.4 <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA)	22
II.7 Interpolasi Natural Neighbor	29
II.8 Regresi Linear	29
II.8.1 Koefisien Korelasi	30
II.8.2 Koefisien Determinasi	31
II.8.3 Kesalahan Baku Estimasi (<i>Standar Error</i>)	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
III.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	33
III.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	33
III.2.1 Alat	33
III.2.2 Bahan.....	35
III.3 Prosedur Penelitian	36
III.3.1 Tahap Persiapan	36
III.3.2 Tahap Pengumpulan Data	36
III.3.3 Tahap Pengolahan Data.....	38
III.3.4 Tahap Interpretasi Data	41
III.4 Bagan Alir Penelitian.....	42

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
IV.1 Analisa Data Pengukuran.....	43
IV.2 Analisis Parameter dan Karakteristik Dinamika Tanah.....	45
IV.3 Dampak Permukaan Gempa Palu 2018	53
IV.4 Korelasi Nilai GSS (γ) dan Dampak Permukaan.....	55
IV.5 Pemetaan Zona Rawan Deformasi.....	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	61
V.1 Kesimpulan	61
V.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Peta Geologi Regional Kota Palu	6
Gambar II.2 Segmentasi Sesar Palu Koro.....	8
Gambar II.3 Perambatan Gelombang S	10
Gambar II.4 Ilustrasi Arah Gerak Gelombang SV dan SH	11
Gambar II.5 Struktur Geologi Khas Cekungan Sedimen.....	12
Gambar II.6 Kurva H/V <i>Clear Peak</i>	16
Gambar II.7 Kurva H/V dengan Dua Puncak	17
Gambar II.8 Kurva H/V dengan Puncak Lebar.....	17
Gambar II.9 Deformasi Permukaan Tanah	21
Gambar III.1 Peta Lokasi Penelitian	33
Gambar III.2 Instrumen dalam Akuisisi Mikrotremor.....	34
Gambar IV.1 Rekaman Sinyal Mikrotremor pada Titik PL-01.....	43
Gambar IV.2 Rekaman Sinyal Setelah Proses <i>Filtering</i> dan <i>Windowing</i>	45
Gambar IV.3 Kurva H/V titik PL-01.....	46
Gambar IV.4 Parameter <i>Strike-Slip Fault</i>	50
Gambar IV.5 Dampak Permukaan berupa Retakan dan Rekahan.....	54
Gambar IV.6 Dampak Permukaan di Balaroa dan Pengawu	54
Gambar IV.7 Dampak Permukaan di Kelurahan Palupi, Tatanga	55
Gambar IV.8 Grafik Korelasi GSS dan Dampak Permukaan	56
Gambar IV.9 Peta Sebaran Nilai Regangan Geser Tanah Kota Palu	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Regangan dan Dinamika Tanah	21
Tabel 2.2 Interpretasi terhadap Koefisien Korelasi	31
Tabel 4.1 Klasifikasi Berdasarkan Frekuensi Dominan Kota Palu	46
Tabel 4.2 Parameter Masukan <i>site</i> MP2141-01	51
Tabel 4.3 Nilai Regangan Geser Tanah Kota Palu.....	52
Tabel 4.4 Klasifikasi Dampak Permukaan Gempa Palu 2018	53
Tabel 4.5 Nilai <i>Threshold</i> Hasil Korelasi.....	57

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kota Palu merupakan salah satu kota di Indonesia yang memiliki tingkat seismisitas yang tinggi. Hal ini tidak terlepas dari wilayahnya yang berada di pulau Sulawesi yang terletak pada pertemuan empat lempeng (*complex junction*) utama dunia yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik dan satu lempeng mikro yaitu Lempeng Laut Filipina. Tekanan dari pergerakan lempeng-lempeng tersebut menyebabkan terbentuknya lipatan maupun sesar. Sesar yang dimensinya cukup besar di Sulawesi dikenal dengan nama Sesar Palu-Koro (Pasau dkk., 2017). Permadi (2022) menyatakan bahwa Sesar Palu-Koro merupakan jalur gempa bumi di Sulawesi Tengah yang terletak di tiga wilayah administrasi yakni Kabupaten Donggala, Kabupaten Sigi, dan Kota Palu. Sesar dengan panjang sekitar 240 km ini memiliki pergeseran tercepat di Asia Tenggara dengan kecepatan sekitar 2-4 mm/tahun.

Manifestasi dari keberadaan Sesar Palu-Koro ini adalah terjadinya penimbunan energi (*stress energy*) dalam kurun waktu tertentu yang dilepaskan secara tiba-tiba dalam bentuk gempa bumi dengan magnitudo yang besar seperti gempa yang terjadi di Kota Palu tahun 2018. Gempa bumi tersebut memiliki magnitudo M_w 7,4 yang berpusat di 26 km utara Kabupaten Donggala dan 80 km barat laut Kota Palu serta kedalaman gempa 10 km. Gempa ini menimbulkan guncangan yang kuat hingga mengakibatkan banyaknya kerusakan bangunan baik perumahan warga, hotel, maupun jembatan yang menjadi ikon Kota Palu. Tidak hanya itu, gempa ini juga

membangkitkan gelombang tsunami dengan ketinggian lebih dari 5 m di pantai barat Kota Palu, serta likuifaksi besar-besaran terutama di daerah Petobo dan Balaroa (Purnama, 2019).

Keadaan geologi mempengaruhi intensitas kerusakan akibat gempa, misalnya dataran aluvial akan mengalami kerusakan lebih parah dibandingkan dengan daerah perbukitan meskipun dengan kekuatan gempa yang sama. Kerusakan dan kerugian akibat gempa bumi dapat diminimalisir dengan melakukan upaya mitigasi. Salah satu upaya mitigasi yang dapat dilakukan adalah dengan memetakan daerah-daerah yang memiliki tingkat kerentanan yang tinggi menggunakan pengukuran mikrotremor (Wachidah dan Agustin, 2021). Menurut Trianda dkk. (2018), pengukuran mikrotremor dapat digunakan untuk mengetahui kondisi geologi dan ketebalan lapisan sedimen permukaan yang menggambarkan kondisi permukaan *bedrock* (lapisan di bawah lapisan sedimen permukaan). Analisis data dilakukan dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) yang menghasilkan kurva H/V dengan informasi berupa frekuensi dominan dan faktor amplifikasi. Kedua parameter ini kemudian digunakan untuk menghitung indeks kerentanan tanah dan regangan geser tanah atau *ground shear strain* (GSS) yang mendeskripsikan karakteristik wilayah tempat pengukuran.

Regangan geser tanah atau *ground shear strain* (GSS) merupakan parameter fisis yang dapat menggambarkan besar kecilnya deformasi permukaan tanah ketika gempa bumi terjadi. Nilai *ground shear strain* bergantung pada respon frekuensi dominan dan respon amplifikasi getaran tanah yang diperoleh dari hasil analisis kurva HVSr data mikrotremor. Nilai regangan geser tanah yang tinggi

teridentifikasi pada wilayah yang memiliki struktur yang relatif lunak dan memiliki lapisan sedimen tebal yang diestimasikan lebih rawan mengalami efek yang signifikan ketika gempa terjadi, seperti rekahan tanah, amblesan, dan sebagainya. Sebaliknya, nilai regangan geser tanah yang rendah diidentifikasi sebagai wilayah yang memiliki struktur lapisan tanah yang relatif padat dan memiliki lapisan sedimen tipis yang lebih aman dari efek gempa bumi yang merusak (Sugianto dan Suhendra, 2017).

Beberapa penelitian telah dilakukan mengenai tingkat resiko bencana berdasarkan respon dinamis tanah di Kota Palu sebelum terjadinya gempa pada tahun 2018 di antaranya penelitian yang dilakukan oleh Thein dkk. (2014) dan Zakia dkk. (2017). Tingkat resiko bencana tersebut ditentukan berdasarkan harga regangan geser tanah atau *ground shear strain* (GSS). Namun, meninjau dari dampak lapangan setelah gempa Palu 2018, mikrozonasi berdasarkan nilai GSS yang telah dilakukan tersebut beberapa menunjukkan ketidaksesuaian khususnya untuk skala respon dinamis tanah yang berupa retakan dan rekahan. Oleh sebab itu, penelitian ini mengkaji regangan geser dan sifat dinamis tanah untuk merekonstruksi nilai batas regangan geser tanah yang telah ada berdasarkan dampak Gempa Palu 2018 yang dikorelasikan dengan hasil pengukuran mikrotremor, sehingga pemetaan yang dilakukan relevan dan dapat menginterpretasikan dengan baik karakteristik dinamis tanah Kota Palu.

I.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana nilai *threshold* regangan geser tanah (γ) hasil korelasi antara pengukuran mikrotremor dengan deformasi permukaan tanah dari Gempa Palu 2018?

2. Bagaimana sebaran nilai regangan geser tanah (γ) Kota Palu berdasarkan nilai *threshold* hasil korelasi pengukuran mikrotremor dengan deformasi permukaan tanah akibat Gempa Palu 2018?

I.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini terbatas pada beberapa hal yaitu penelitian ini difokuskan pada wilayah Kota Palu, Sulawesi Tengah dengan koordinat geografis $119^{\circ}45'0''$ - $120^{\circ}2'0''$ Bujur Timur dan $0^{\circ}36'0''$ - $0^{\circ}56'0''$ Lintang Selatan. Data yang diolah berupa data primer dari pengukuran mikrotremor dan data sekunder berupa data parameter gempa (lokasi hiposenter dan magnitudo), data bidang *rupture*, data deformasi permukaan, dan data mikrotremor dari pengukuran sebelumnya. Penelitian ini mengolah data mikrotremor dengan menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spektra Ratio* (HVSR) untuk mendapatkan parameter berupa frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0), indeks kerentanan seismik (K_g), dan *ground shear strain* (γ). Percepatan maksimum tanah dihitung dengan menggunakan beberapa fungsi atenuasi di antaranya persamaan yang dibuat oleh Abrahamson dkk. (2014), Boore dkk. (2014), Campbell dan Bozorgnia (2014), dan Chiou dan Youngs (2014), sedangkan data deformasi permukaan diinterpolasi dengan metode Natural Neighbor. Adapun hasil yg diharapkan dari penelitian ini berupa nilai batas *ground shear strain* (GSS) dan peta sebaran nilai GSS di Kota Palu.

I.4 Tujuan Penelitian

1. Merekonstruksi nilai *threshold* regangan geser tanah (γ) berdasarkan hasil korelasi antara pengukuran mikrotremor dengan deformasi permukaan tanah akibat Gempa Palu 2018.

2. Membuat peta distribusi nilai regangan geser tanah (γ) Kota Palu berdasarkan nilai *threshold* hasil korelasi.

I.5 Manfaat Penelitian

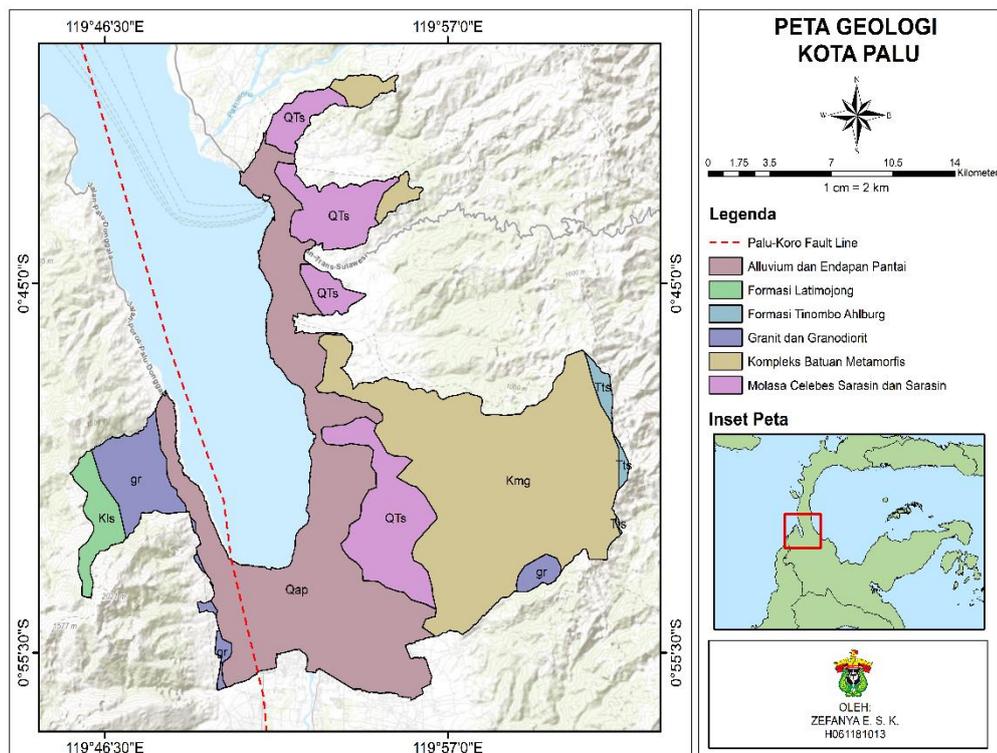
Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa informasi mengenai karakteristik dinamika tanah wilayah Kota Palu pada masyarakat. Peta sebaran nilai regangan geser tanah ini dapat dijadikan bahan pertimbangan bagi pemerintah setempat untuk pembangunan kota maupun dalam melakukan mitigasi bencana untuk meminimalisir dampak buruk gempa bumi di masa mendatang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Kondisi Geologi dan Tatanan Tektonik Kota Palu

Wilayah kota Palu merupakan kawasan yang batuan dasarnya tersusun dari batuan metamorf yang di atasnya terdapat endapan sedimen vulkanik dengan komposisi yang bervariasi.

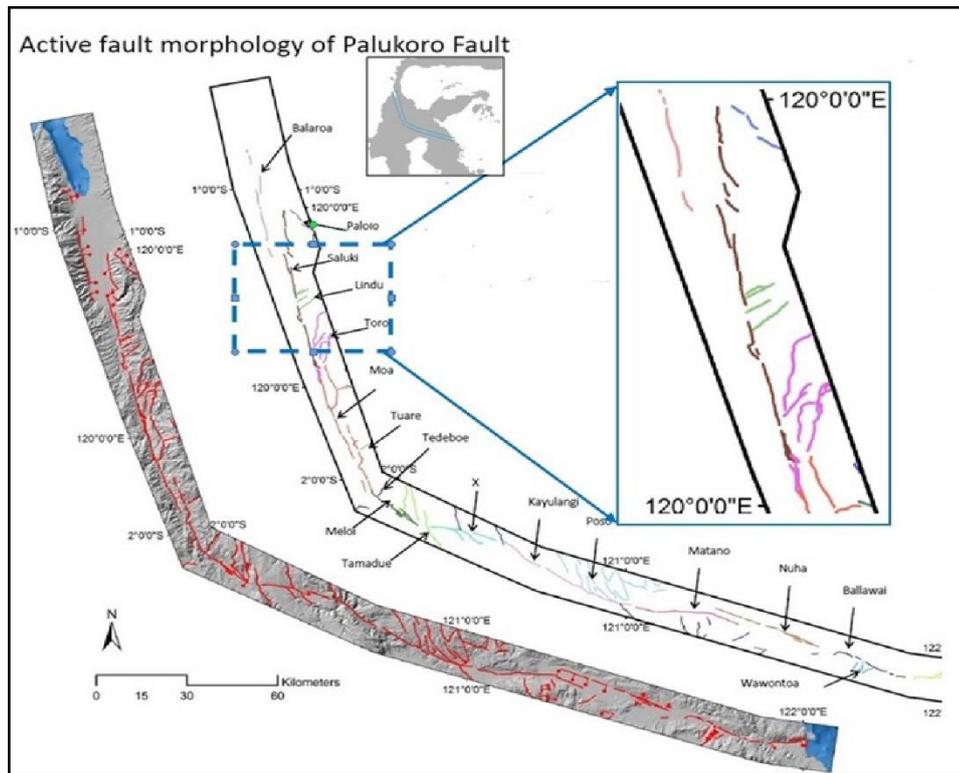


Gambar II.1 Peta Geologi Regional Kota Palu

Berdasarkan geologi regionalnya, daerah depresi Palu ini didominasi oleh endapan aluvium dan deposit pantai (Qap) yang terbentuk di era Holosen. Formasi ini terdiri dari batu kerikil, pasir, lumpur, serta batugamping dan terbentuk di lingkungan sungai dangkal, delta, dan laut. Komposisi kerikil terdiri dari fragmen granit pada bagian barat laut (Tim Pusgen, 2018). Formasi Molase Celebes Serasin (QTms) terdapat pada daerah yang lebih rendah pada sisi-sisi kedua jajaran pegunungan,

terdiri dari rombakan yang berasal dari formasi-formasi lebih tua, antara lain konglomerat, batupasir, batulumpur, batugamping-koral, dan napal. Di dekat kompleks batuan metamorf pada bagian barat jajaran pegunungan endapan ini utamanya terdiri dari bongkah-bongkah kasar dan kemungkinan diendapkan di dekat sesar yang semakin ke arah laut beralih menjadi batuan klastika berbutir lebih halus (Badan Geologi, 2018).

Berdasarkan catatan kegempaan, Sulawesi bagian tengah khususnya kota Palu merupakan daerah yang rawan akan gempa bumi karena memiliki tatanan tektonik yang kompleks dan aktif bergerak. Terdapat sistem sesar yang berdimensi cukup besar yaitu Sesar Palu Koro yang melintang dari ujung barat subduksi Sulawesi Utara, melewati daratan Kota Palu ke arah tenggara hingga Teluk Bone. Sesar ini memiliki panjang kurang lebih 240 km yang merupakan sesar mendatar mengiri (*sinistral strike slip fault*). Seismisitas di wilayah ini tidak mengindikasikan lineasi yang utuh, tetapi terdiri atas beberapa klaster seismisitas yang disebabkan oleh aktivitas sesar segmen-segmen Palu Koro dan sesar-sesar minor di sekitarnya (Toiba dkk., 2017). Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Pakpahan dkk. (2015), mengidentifikasi adanya tiga segmen Sesar Palu Koro yaitu Segmen Lindu yang merupakan sesar geser menganan dengan arah relatif barat daya-timur laut dengan dip sekitar 80°; Segmen Toro yang merupakan sesar naik dengan arah pergerakan relatif ke arah barat daya-timur laut; serta Segmen Balaroa yang merupakan sesar turun. Selain itu, terdapat pula beberapa sesar minor yang sejajar di bagian barat dan timur Sesar Palu Koro yakni Sesar Poso yang berarah utara-selatan dan juga tergolong sebagai sesar aktif.



Gambar II.2 Segmentasi Sesar Palu Koro (Pakpahan dkk., 2015)

Berdasarkan kondisi geologi dan tektoniknya, Kota Palu sangat rentan terhadap bahaya kegempaan serta bencana sekunder yang mengikutinya apabila terjadi gempa besar. Gempa besar tersebut dapat menyebabkan keruntuhan bangunan apabila struktur bangunannya tidak dirancang dengan tepat untuk menahan beban gempa, longsoran tebing yang dapat memicu tsunami, serta likuifaksi di daerah muara sungai dan tepian pantai yang memiliki tanah yang berpasir yang jenuh air (Ramadhani, 2011).

II.2 Gempa Bumi

Gempa bumi terjadi karena adanya pelepasan energi elastik dari peristiwa tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) yang terjadi secara tiba-tiba. Gempa bumi sangat jarang terjadi di tengah benua (zona yang lebih *rigid*), tetapi kebanyakan terjadi di batas benua atau lempeng (zona yang kurang *rigid*), sesar termasuk dalam zona

tersebut. Energi yang telah terakumulasi selama interval waktu yang lama ini dilepaskan dalam bentuk gelombang elastik yang menjalar ke segala arah sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi (Afnimar, 2019).

Gempa bumi yang terjadi dideskripsikan melalui parameter-parameter yang mengikutinya. Parameter gempabumi ini meliputi waktu kejadian (*origin time*), lokasi episenter, kedalaman sumber gempa bumi, intensitas dan magnitudo. Berdasarkan kedalaman sumber (h), gempa bumi digolongkan menjadi gempa bumi dangkal, menengah, dan dalam. Intensitas gempa bumi menyatakan ukuran kekuatan guncangan gempa berdasarkan efek yang terekam di lapangan (Afnimar, 2009).

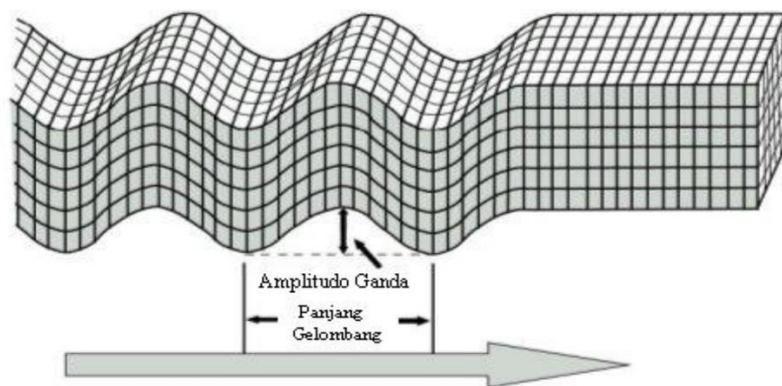
II.3 Gelombang Seismik

Gelombang seismik termasuk dalam salah satu gelombang mekanik di mana gelombang ini membutuhkan medium ketika merambat. Ketika gelombang seismik merambat dalam bumi, akan terjadi perubahan bentuk pada medium tersebut. Oleh karena itu, gelombang seismik disebut juga gelombang elastis karena perambatannya mengakibatkan partikel-partikel medium berosilasi dengan memenuhi hukum-hukum elastisitas. Dari interaksi ini menghasilkan gelombang longitudinal, gelombang transversal dan kombinasi di antara keduanya sebagai perpindahan (transportasi) energi (Hudha dkk., 2014).

Terdapat dua jenis gelombang seismik yaitu gelombang permukaan (*surface wave*) dan gelombang badan (*body wave*). Gelombang badan atau *body wave* mempunyai dua macam gelombang, yakni gelombang P (*primary/longitudinal*) dan S (*secondary/transversal*). Gelombang P merupakan gelombang yang juga dikenal

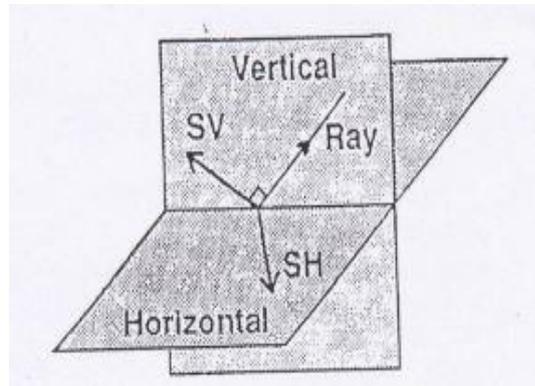
sebagai gelombang kompresi, dilatasi, tak berputar atau primer. Gelombang S disebut juga dalam istilah gelombang geser dan equivoluminal. Gelombang S dalam perambatan partikel-partikelnya berpindah secara tegak lurus dengan arah perambatan gelombang. Gelombang ini datang setelah gelombang P dan ditandai dengan amplitudo yang lebih besar dari gelombang P dan kandungan frekuensinya lebih rendah, periodenya berkisar antara 11 sampai 13 ms (Afnimar, 2019).

Gelombang S



Gambar II.3 Perambatan Gelombang S (Bolt, 1976)

Gerak partikelnya akan tegak lurus terhadap arah rambat gelombangnya dan terjadi perubahan bentuk (*shear*) tanpa perubahan volume. Arah gerak partikel ketika dilewati gelombang S secara umum bisa tak hingga banyaknya karena arah tegak lurus terhadap arah rambat gelombang jumlahnya tak berhingga. Oleh sebab itu, para seismologis mendefinisikan dua buah tipe gelombang S yaitu gelombang SV (*shear vertical*) dan SH (*shear horizontal*). Gelombang ini hanya menjalar melalui medium padat dengan kecepatan 3-4 km/s di kerak bumi, lebih besar dari 4,5 km/s di dalam mantel bumi dan 2,5-3 km/s di dalam bumi. Gerak partikel gelombang SV terletak pada bidang vertikal, sedangkan untuk gelombang SH terletak pada bidang horisontal atau sejajar dengan permukaan bumi (Afnimar, 2009).



Gambar II.4 Ilustrasi arah gerak gelombang SV dan SH (Afnimar, 2009)

II.4 Mikrotremor

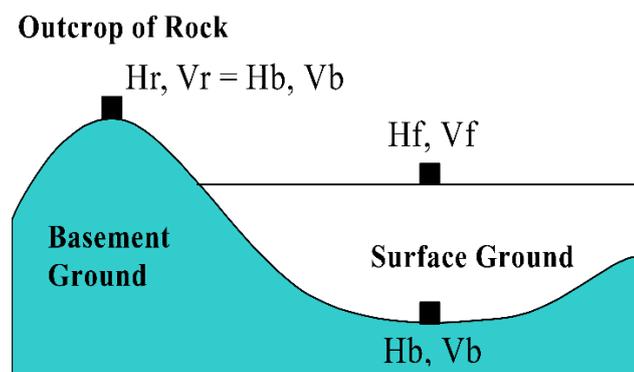
Mikrotremor adalah getaran tanah dengan frekuensi sekitar 0.5 – 10 Hz yang terjadi secara terus menerus dan saling beresonansi dengan amplitudo perpindahan berada dalam rentang 10^{-4} hingga 10^{-2} mm dan amplitudo kecepatan 0.001 – 0.01 cm/s, yang dapat dideteksi oleh seismograf dengan perbesaran tinggi. Getaran tersebut didominasi oleh sumber buatan yang berasal dari aktivitas manusia, lalu lintas, mesin-mesin industri dan dapat pula disebabkan oleh sumber alami dengan periode panjang seperti gelombang laut, angin, aktivitas gunung, dan tekanan atmosfer (Sunardi dkk., 2018).

II.5 Metode *Horizontal to Vertical Spectra Ratio* (HVSZ)

Metode HVSZ merupakan perhitungan data mikrotremor dengan membandingkan komponen horisontal (H) dan komponen vertikal (V) yang terjadi pada spektrum getaran tanah pada setiap data yang diakusisi. Data mikrotremor *single station* menggambarkan kecepatan getaran tanah dalam tiga komponen arah, yaitu utara-selatan (N-S), barat-timur (E-W), dan vertikal (U-D) yang dinyatakan dalam domain waktu (Muhtar dkk., 2016). Nakamura (1989) mengemukakan konsep HVSZ yang diasumsikan sama dengan fungsi transfer antara getaran gelombang

pada lapisan sedimen dan batuan dasar (*bedrock*) dan menganggap gelombang pada mikrotemor didominasi oleh gelombang geser serta mengabaikan gelombang permukaan (Rayleigh dan Love), konsep tersebut merepresentasikan kondisi atau karakteristik setempat. Menurut Sungkono dan Santosa (2011) pendekatan gelombang badan lebih baik dari pada gelombang permukaan. Kesimpulan ini hadir setelah membandingkan hasil simulasi numerik berdasarkan *software* ModelHVSR yang berbasis gelombang badan dengan mikrotremor yang berbasis multi mode gelombang permukaan (Rayleigh dan Love).

Metode HVSR mikrotremor sederhananya merupakan salah satu bentuk pengaplikasian fenomena resonansi ke dalam sistem bumi. Apabila sebuah sistem diberikan getaran dengan frekuensi yang sama dengan frekuensi dirinya atau frekuensi dominan dari sistem tersebut maka akan terjadi amplifikasi atau peningkatan amplitudo. Begitu pun dengan sistem bumi, setiap *site* memiliki respon yang berbeda terhadap getaran bergantung pada frekuensi naturalnya. Tanah akan teramplifikasi tinggi apabila menerima getaran yang sama dengan frekuensi diri (frekuensi natural), inilah mengapa dalam HVSR frekuensi natural dan amplifikasi menjadi parameter penting yang dijadikan sebagai petunjuk kerentanan suatu daerah ketika terjadi gempa (Mufida dkk., 2013).



Gambar II.5 Struktur Geologi Khas Cekungan Sedimen (Nakamura, 2000)

Gerakan seismik yang terjadi pada permukaan sedimen yang bersentuhan dengan batuan dasar pada cekungan baik horisontal maupun vertikal memiliki faktor amplifikasi yang dilambangkan oleh T_H dan T_V . Faktor amplifikasi horisontal dinyatakan dalam:

$$T_H = \frac{H_s}{H_b} \quad (2.1)$$

dengan H_s merupakan spektrum gerak horisontal pada lapisan sedimen, sedangkan H_b merupakan spektrum gerak horisontal di batuan dasar.

Faktor amplifikasi vertikal dituliskan sebagai berikut.

$$T_V = \frac{V_s}{V_b} \quad (2.2)$$

Dengan V_s merupakan spektrum gerak vertikal pada lapisan sedimen, sedangkan V_b merupakan spektrum gerak vertikal di batuan dasar.

Noise akibat gelombang Rayleigh yang terekam pada batuan dasar dapat dihilangkan karena rasio antara spektrum horisontal dan vertikal di batuan dasar mendekati satu. Yang berpengaruh pada pengukuran mikrotremor adalah struktur geologi lokal (T_{SITE}). HVSR yang dikemukakan oleh Nakamura yang mengasumsikan bahwa amplifikasi terjadi di permukaan tanah. Pada umumnya, yang membedakan lapisan tanah dan batuan dasar adalah getaran horisontal yang kemudian dibagi dengan komponen vertikal untuk mengetahui efek dari variasi ketebalan tanah (Nakamura, 2000).

Besarnya nilai HVSR dapat dituliskan sebagai berikut.

$$HVSR(f) = \frac{AH(f)}{AV(f)} \quad (2.3)$$

Dengan $AH(f)$ merupakan spektrum frekuensi dari komponen horisontal dan $AV(f)$ merupakan spektrum frekuensi komponen vertikal.

Apabila rata-rata komponen horisontal dihitung dengan menggunakan *root mean square* (rms), kemudian H/V rasio spektra dapat ditulis sebagai berikut.

$$HVS\!R(f) = \frac{\sqrt{\{A_{NS}^2(f) + A_{EW}^2(f)\}/2}}{AV(f)} \quad (2.4)$$

Yang mana $A_{NS}(f)$ dan $A_{EW}(f)$ adalah spektrum dari komponen horisontal arah utara-selatan dan timur-barat (Harsuko dkk., 2020).

Pada saat melakukan pemrosesan data dengan metode HVS R terdapat beberapa langkah yang dilakukan pada data pengukuran hingga menghasilkan kurva H/V. Tahap pertama yaitu *windowing* dengan menentukan panjang dari *time window* serta penentuan parameter STA/LTA (*Short Term Average/Long Term Average*). Tahap selanjutnya adalah FFT (*Fast Fourier Transform*) dan *Smoothing* data hingga akhirnya menghasilkan kurva HVS R .

II.5.1 Transformasi Fourier

Transformasi Fourier merupakan persamaan matematis yang mengubah fungsi waktu menjadi fungsi frekuensi. Dalam mikrotremor, FFT dibutuhkan untuk mentransformasikan sinyal suara setiap komponen dari domain waktu ke dalam bentuk digital berupa gelombang spektrum suara yang berbasis frekuensi sehingga lebih mudah dalam menganalisis spektrum suara yang telah direkam. Adapun proses transformasi ini dirumuskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} X(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\cos(2\pi ft) dt - j \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\sin(2\pi ft) dt \end{aligned} \quad (2.5)$$

$X(f)$ adalah fungsi sinyal dalam domain frekuensi, $x(t)$ adalah fungsi sinyal dalam domain waktu $-j2\pi ft$ adalah fungsi kernel, dan f adalah frekuensi. Persamaan (2.6) adalah fungsi yang digunakan untuk mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi. Setiap titik pengukuran mikrotremor memiliki tiga komponen di antaranya komponen *East-West*, *North-South*, dan *Up-Down* yang masing-masing ditransformasikan ke dalam domain frekuensi dengan rumus sebagai berikut.

$$X(f)_{EW} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)_{EW} \cos(2\pi ft) dt - j \int_{-\infty}^{\infty} x(t)_{EW} \sin(2\pi ft) dt \quad (2.6)$$

$$X(f)_{NS} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)_{NS} \cos(2\pi ft) dt - j \int_{-\infty}^{\infty} x(t)_{NS} \sin(2\pi ft) dt \quad (2.7)$$

$$X(f)_{UD} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)_{UD} \cos(2\pi ft) dt - j \int_{-\infty}^{\infty} x(t)_{UD} \sin(2\pi ft) dt \quad (2.8)$$

Dengan $X(f)_{EW}$, $X(f)_{NS}$, dan $X(f)_{UD}$ merupakan fungsi sinyal dalam domain frekuensi setiap komponen (Riantana dkk., 2019).

II.5.2 Smoothing

Smoothing (penghalusan) data dilakukan dengan prinsip Konno dan Ohmachi yang menggunakan *bandwidth* konstan pada skala logaritmik. Dengan menggunakan *smoothing function* ini, rasio puncak H/V mikrotremor dapat berhubungan langsung dengan faktor amplifikasi, khususnya ketika proporsi gelombang Rayleigh (Jamal dkk., 2017). Fungsi penghalusan data Konno-Ohmachi dapat ditulis sebagai berikut,

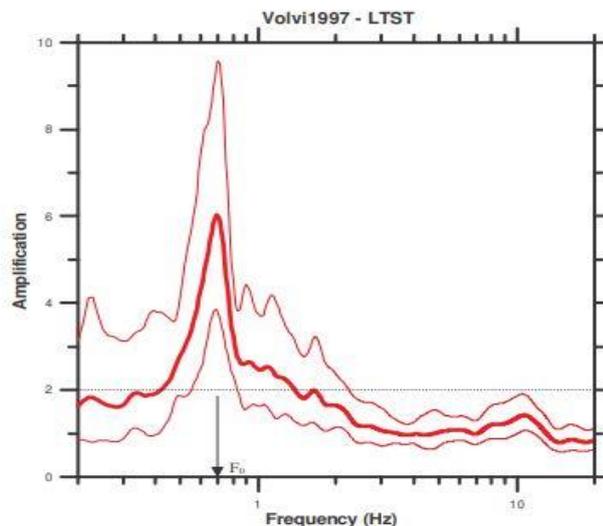
$$W_B(f, f_c) = \frac{\left[\sin \left(\log_{10} \left(\frac{f}{f_c} \right)^b \right) \right]}{\left[\left(\log_{10} \left(\frac{f}{f_c} \right)^b \right) \right]^4} \quad (2.9)$$

dengan f adalah frekuensi, f_c merupakan frekuensi pusat, dan b adalah koefisien *bandwidth*. Nilai b sangat mempengaruhi hasil *smoothing*, semakin kecil nilai b

maka data hasil yang diperoleh dari *smoothing* dapat lebih signifikan (Konno dan Ohmachi, 1998).

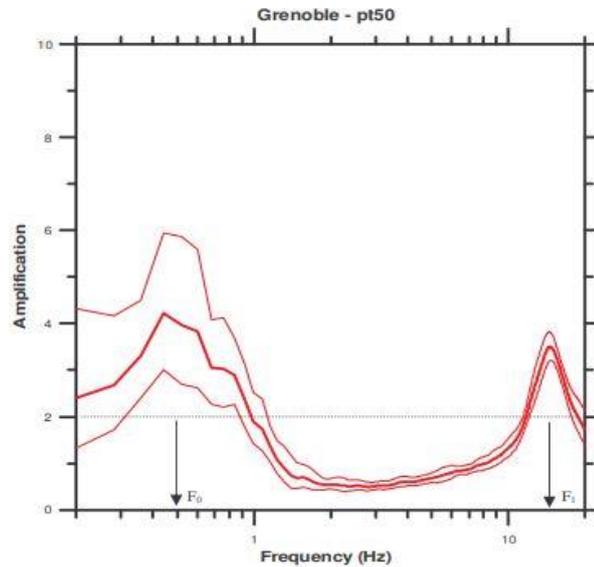
II.5.3 Kurva HVSR

Puncak kurva HVSR terbentuk akibat proses resonansi yang melibatkan amplitudo spektrum horisontal pada suatu frekuensi tertentu sehingga menjadi lebih besar, sedangkan spektrum vertikalnya tetap. Karakteristik kurva HVSR dapat diamati dengan melihat variasi pola kurva yang terbentuk. Kurva dengan satu puncak tunggal seperti pada Gambar II.6 terbentuk karena adanya gelombang mengalami amplifikasi karena kontras impedansi pada suatu kedalaman (Harsuko dkk., 2020).



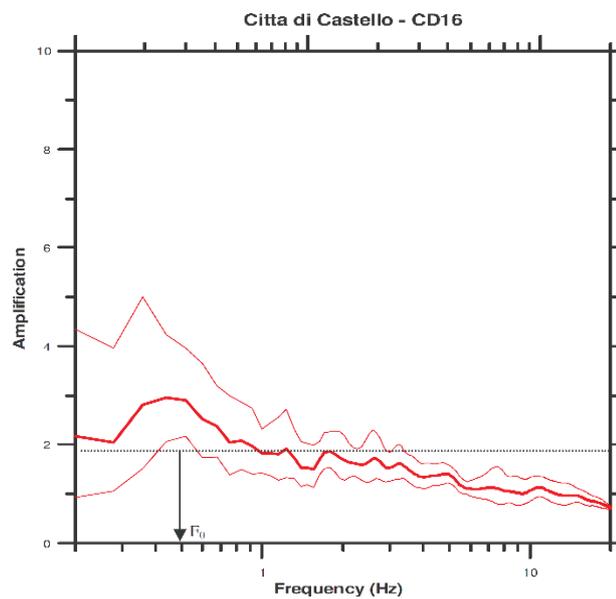
Gambar II.6 Kurva H/V *Clear Peak* (SESAME, 2004)

Berdasarkan SESAME (2004), ada beberapa syarat agar kurva HVSR dianggap memiliki puncak tunggal yang jelas. Untuk kurva HVSR yang memiliki dua puncak seperti yang terlihat pada Gambar II.7 disebabkan oleh adanya kondisi geologi semacam perbedaan impedansi pada kedalaman tertentu, dengan sedimen pada permukaan tidak sekompak sedimen pada permukaan di bawahnya.



Gambar II.7 Kurva H/V dengan Dua Puncak (SESAME, 2004)

Sedangkan untuk kurva HVSR dengan puncak yang lebar seperti Gambar II.8 terjadi karena adanya variasi pada struktur sedimen.



Gambar II.8 Kurva H/V dengan Puncak Lebar (SESAME, 2004)

II.6 Parameter dan Karakteristik Dinamika Tanah

Menurut Muhtar dkk. (2016), pengukuran mikrotremor menghasilkan dua parameter penting yaitu frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A). Kedua parameter inilah yang kemudian digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik

dinamika tanah seperti indeks kerentanan tanah (K_g), *ground shear strain* (γ), dan percepatan tanah maksimum (PGA).

II.6.1 Frekuensi Dominan (f_0)

Frekuensi dominan atau frekuensi natural adalah frekuensi yang muncul paling sering dan ditunjukkan oleh puncak kurva H/V. Spektra *ambient noise* yang diperoleh dari pengukuran mikrotremor dapat digunakan untuk menentukan respon suatu *site* khususnya frekuensi resonansi suatu lapisan sedimen. Nilai puncak frekuensi berubah terhadap variasi geologi sehingga nilai frekuensi dianggap mewakili jenis dan karakteristik batuan tersebut. Respon frekuensi ini berhubungan dengan ketebalan lapisan sedimen dan kecepatan gelombang geser (Syamsuddin dkk., 2021). Nakamura (2000) kemudian merumuskan hubungan tersebut sebagai berikut.

$$f_0 = \frac{V_s}{4H} \quad (2.10)$$

Dengan,

f_0 : frekuensi dominan.

V_s : kecepatan gelombang geser.

H : ketebalan dari lapisan sedimen.

Frekuensi dominan di atas berkaitan dengan periode dominan yang secara matematisnya di tulis sebagai berikut (Maimun dkk., 2020).

$$T_0 = \frac{1}{f_0} \quad (2.11)$$

Periode dominan merupakan waktu yang dibutuhkan untuk merambat melewati lapisan sedimen permukaan atau mengalami satu kali pemantulan terhadap bidang

refleksinya. Besarnya nilai periode dominan tanah menunjukkan tingkat kerentanan tanah, semakin besar nilai periode dominan tanah di suatu lokasi maka semakin rentan lokasi tersebut dari guncangan gempa bumi (Jamal dkk., 2017).

II.6.2 Faktor Amplifikasi (A_0)

Amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan, dengan kata lain faktor amplifikasi berkaitan erat dengan perbandingan kontras impedansi yang berhubungan dengan kecepatan gelombang (V_s) dan kepadatan batuan (ρ) pada kedua lapisan. Semakin besar kontras impedansi antar lapisan, maka semakin besar pula faktor penguatannya, hal ini berlaku sebaliknya. Faktor amplifikasi dapat dirumuskan sebagai berikut sebaliknya (Sitorus dkk., 2017).

$$A_0 = \frac{\rho_b V_b}{\rho_s V_s} \quad (2.12)$$

Dengan ρ_b adalah densitas batuan dasar dan ρ_s adalah densitas batuan lunak (gr/ml). Sedangkan V_b merupakan kecepatan gelombang batuan dasar dan V_s yang adalah kecepatan gelombang batuan lunak (m/s). Nakamura (2000) merumuskan faktor amplifikasi apabila kedua lapisan memiliki densitas sama yang ditulis sebagai berikut.

$$A_0 = \frac{V_b}{V_s} \quad (2.13)$$

Nilai amplifikasi dapat meningkat apabila telah mengalami deformasi (pelapukan, pelipatan atau pesesaran) yang mengubah sifat fisik batuan, sehingga pada batuan yang sama, nilai amplifikasi dapat bervariasi (Arifin dkk., 2014).

II.6.3 Indeks Kerentanan Seismik dan Regangan Geser Tanah

Indeks kerentanan seismik (K_g) merupakan angka yang menunjukkan tingkat kerawanan terhadap gempa bumi berdasarkan kondisi batuan di daerah tersebut. Berdasarkan nilai indeks kerentanan seismik dapat diketahui tingkat kerentanan tanah permukaan terhadap deformasi saat gempa bumi terjadi. Distribusi indeks kerentanan tanah yang tinggi terletak pada daerah dengan zona kerusakan parah yang artinya semakin tinggi indeks kerentanan seismik suatu daerah maka semakin tinggi pula potensi kerusakan akibat gempa bumi. Indeks kerentanan seismik diperoleh melalui hubungan antara frekuensi natural dan faktor amplifikasi sebagai berikut.

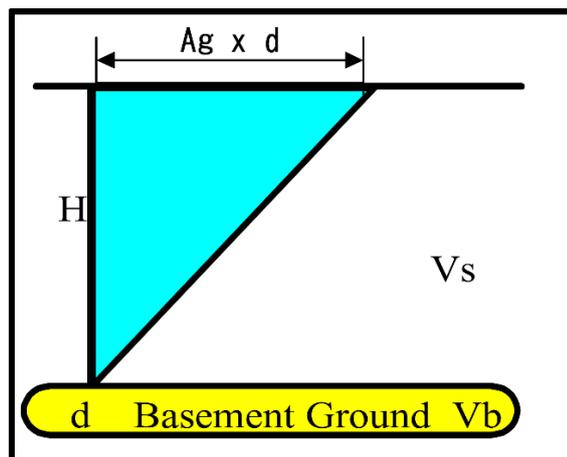
$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (2.14)$$

dengan A_0 yang merupakan faktor amplifikasi dan f_0 adalah frekuensi dominan (Hz). Dari persamaan di atas dapat diindikasikan bahwa wilayah dengan lapisan sedimen yang tebal dan disertai dengan penguatan getaran gelombang seismik (amplitudo puncak) yang besar, maka nilai indeks kerentanan seismik juga akan semakin tinggi (Muhtar dkk., 2016).

Dalam menentukan indeks kerentanan seismik, regangan geser permukaan diperhitungkan. Regangan Geser Tanah (γ) adalah parameter yang menunjukkan besar regangan maksimum yang dialami tanah permukaan jika terjadi gempa bumi. Nilai regangan geser tanah memiliki hubungan yang linear dengan deformasi tanah. Semakin besar nilai regangan maka lapisan sedimen permukaan akan semakin mudah meregang dan bergeser sehingga menyebabkan deformasi yang berupa rekahan tanah, longsor, kompaksi, dan likuifaksi (Mardiantoro dan Aeni, 2019).

Tabel 2.1 Nilai Regangan dan Dinamika Tanah (Ishihara, 1982 dalam Susilanto dkk., 2016)

Regangan Geser	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
Fenomena	Gelombang, getaran		Rekahan, penurunan tanah		Longsor, kompaksi, likuifaksi	
Efek Dinamis	Elastisitas		Elasto-plastis		Plastis	



Gambar II.9 Deformasi Permukaan Tanah (Nakamura, 2000)

Gambar II.9 merupakan deformasi dari regangan permukaan tanah, di mana nilainya ditunjukkan pada persamaan berikut (Nakamura, 2000).

$$\gamma = \frac{A_0 d}{H} \quad (2.15)$$

Dengan A_0 merupakan faktor amplifikasi, H adalah ketebalan lapisan tanah, dan d adalah pergeseran gelombang seismik dari bawah permukaan tanah. Kecepatan pergeseran gelombang di permukaan tanah dan di bawah permukaan tanah berturut-turut dilambangkan sebagai V_s dan V_b . Nilai frekuensi dominan (f_0) pada permukaan tanah dirumuskan sebagai berikut,

$$f_0 = \frac{V_s}{4H} \quad (2.16)$$

sehingga nilai ketebalan lapisan dapat dirumuskan menjadi:

$$H = \frac{V_s}{4f_0} \quad (2.17)$$

apabila nilai frekuensi dominan pada bawah permukaan tanah dinyatakan sebagai

$$f_0 = \frac{V_b}{4A_{0H}} \quad (2.18)$$

dan percepatan di bawah permukaan tanah atau batuan dasar adalah:

$$\alpha_b = (2\pi f_0)^2 d \quad (2.19)$$

Jika persamaan 2.18 dan 2.19 disubstitusikan ke persamaan 2.15, maka diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$\gamma = \frac{A_0 a_b}{(2\pi f_0)^2} \frac{4A_0 f_0}{v_b} = \frac{A_0^2}{f_0} \frac{\alpha_b}{\pi^2 V_b} \quad (2.20)$$

$$\gamma = \frac{1}{\pi^2 V_b} K_g \alpha_b \quad (2.21)$$

$$\gamma = C \times K_g \times \alpha_b \quad (2.22)$$

II.6.4 Peak Ground Acceleration (PGA)

Peak ground acceleration atau percepatan maksimum tanah adalah nilai terbesar percepatan getaran tanah pada lapisan batuan yang timbul akibat adanya gempa bumi yang dapat dihitung sebagai percepatan di batuan dasar maupun percepatan gempa di permukaan tanah. Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai percepatan tanah di antaranya besar kekuatan gempa bumi (magnitudo), kedalaman gempa, jarak episenter, dan sifat fisis batuan. Setiap parameter masukan gempa bumi yang digunakan akan menghasilkan nilai PGA yang berbeda bahkan nilai PGA akan berbeda pada titik yang berbeda meskipun parameter masukannya berupa gempa yang sama. Nilai PGA dinyatakan dalam satuan percepatan gravitasi (*gravitational acceleration* = gal) atau cm/s^2 . *Peak ground acceleration* dapat ditentukan melalui pengukuran alat (*accelerograph*) dan perhitungan empiris dengan fungsi atenuasi (Salsabil dkk., 2018).

Fungsi atenuasi adalah persamaan matematika sederhana yang menggambarkan hubungan antara parameter kegempaan di lokasi pusat gempa seperti intensitas gerakan tanah (a), magnitudo gempa (M), serta jarak dari suatu titik dari sumber gempa (r). Fungsi atenuasi perlu diperhitungkan karena jarak dari episenter gempa bumi berpengaruh terhadap kekuatan gempa bumi yang dirasakan, semakin jauh jaraknya maka kekuatannya cenderung mengalami penurunan. Meskipun demikian, hal berbeda mungkin saja terjadi dalam beberapa kasus yang disebabkan oleh kondisi setempat (*local site*). Kondisi alam di setiap tempat yang berbeda membuat para ahli berusaha merumuskan fungsi atenuasi yang dapat digunakan di tempat yang berbeda dengan dasar kesamaan kondisi geologi dan tektonik. Berbagai fungsi atenuasi telah dikembangkan para ahli baik fungsi untuk sumber gempa dangkal, sumber gempa *deep background*, fungsi atenuasi untuk sumber gempa akibat penunjaman, dan sumber gempa yang berada pada area *shallow crustal* (*strike slip*, *reverse*, dan gempa normal). Minimnya data pencatatan *time history* di Indonesia membuat pemakaian fungsi atenuasinya menggunakan fungsi atenuasi yang diturunkan dari negara lain yang memiliki *local site* yang sama dengan Indonesia (Irwansyah dan Winarko, 2012).

Berikut merupakan beberapa fungsi atenuasi yang digunakan dalam penelitian ini.

a. Persamaan GMPE Abrahamson, Silva, dan Kamai (2014) NGA

Persamaan GMPE ASK14 dikembangkan oleh Norman Abrahamson, Walter Silva dan Ronnie Kamai dengan melakukan pengembangan dari penelitian PEER yang juga ditulis oleh Abrahamson dkk. (2013). Terdapat beberapa pembaharuan yang mencakup 3 hal yaitu: (1) bentuk spektralnya tetap halus pada

jarak yang pendek, (2) Perpindahan pada spektral mendatar pada periode panjang untuk magnitudo kecil, (3) Bentuk frekuensi tinggi tidak mengalami penurunan pada PGA hingga 300 km. Model ini menggunakan model regresi dengan kumpulan data rentang $M > 3$ dan $R_{rup} < 300$ km.

Model Untuk *median ground motion*

$$\begin{aligned} \ln Sa(g) = & f_1(M, R_{rup}) + F_{RV}f_7(M) + F_Nf_8(M) + F_{AS}f_{11}(CR_{jb}) + f_5(Sa_{1180}, V_{S30}) \\ & + F_{HW}f_4(R_{jb}, R_{rup}, R_x, R_{y0}, W, dip, Z_{TOR}, M) + f_6(Z_{TOR}) + f_{10}(Z_{1.0}, V_{S30}) \\ & + \text{Regional}(V_{S30}, R_{rup}) \end{aligned} \quad (2.23)$$

dengan,

M : magnitudo momen

CR_{jb} : centroid R_{jb} (penjelasan pada gempa susulan bagian penskalaan dalam wooddell dan Abrahamson(2014))

Z_{TOR} : kedalaman dari puncak bidang *rupture* (km)

F_{RV} : 1 untuk $30^\circ \leq \lambda \leq 150^\circ$ dan $F_{RV} = 0$ untuk yang lain (*reverse* dan *reverse-oblique*)

F_N : 1 untuk $-30^\circ \leq \lambda \leq -150^\circ$ dan $F_N = 0$ untuk yang lain (*normal faulting*)

F_{AS} : 1 untuk kelas 2, 0 untuk kelas 1 (*aftershocks*)

R_{rup} : jarak terdekat ke bidang *rupture* (km)

V_{S30} : kecepatan gelombang geser sampai kedalaman 30 m (m/s)

Z_1 : kedalaman hingga $V_s = 1.0$ km/detik untuk *site* (m)

Sa_{1180} : spektral percepatan puncak median (g) untuk $V_{S30} = 1180$ m/s

F_{HW} : *hanging wall flag*; 1 untuk lokasi pada patahan, 0 untuk yang lain.

Batas antara *footwall* dan *hanging wall* ditentukan oleh proyeksi

vertikal pada bagian atas ZZ retakan. Untuk kemiringan 90° ,

$$F_{HW}=0$$

R_{jb} : jarak Joiner-Boore (km)

R_x : koordinat *site* (Km) tegak lurus terhadap *trace fault*

R_{y0} : jarak horisontal dari pengukuran *rupture* sejajar dengan *strike*

Dip : sudut lancip pada permukaan geologi dengan bidang horisontal
(dalam derajat)

W : *down-dip width* dari bidang *rupture* (km)

Model ini berlaku untuk jarak 0 – 300 km dan magnitudo 3.0 – 8.5. Meskipun magnitudo terbesar dalam kumpulan data NGA adalah M_w 7,9 dianggap bahwa model tersebut dapat diekstrapolasi ke M_w 8,5. Berkenaan dengan kondisi lokasi, model ini dianggap bisa diterapkan pada V_{s30} 180 m/s tetapi tidak dibatasi dengan baik untuk lokasi dengan V_{s30} 1000 m/s. Oleh karena itu, untuk kecepatan yang lebih tinggi, pertimbangkan untuk menyesuaikan bagian model dengan batasan yang lebih baik (misalnya $V_{s30}=760$ m/s) menggunakan respon lokasi analitis (Abrahamson dkk., 2013).

b. Persamaan GMPE Boore, Stewart, Seyhan, dan Atkinson (2014) NGA

Persamaan ini dikembangkan oleh empat peneliti yaitu David M. Boore, Jonathan P. Stewart, Emel Seyhan, dan Gail M. Atkinson yang digunakan untuk gempa *fault* dan *shallow background*. Model regresi pada persamaan ini menggunakan data gerakan tanah yang memiliki rentang jarak antara 0 sampai dengan 400 km dengan magnitudo 3 sampai dengan 8,5 untuk mekanisme kegempaan *strike-slip* dan *reverse-slip*. Sedangkan untuk mekanisme kegempaan *normal-slip* berkisar dari M_w 3.5 sampai M_w 7. Persamaan ini

digunakan untuk kedalaman basin z_1 antara 0 sampai 3 km dengan nilai V_{S30} berada di rentang 150 sampai 1.500 m/s. Persamaan dan parameter dapat ditulis sebagai berikut. Fungsi F_E , F_P , dan F_S secara berurutan merupakan fungsi yang bergantung pada mekanisme sumber gempa, jarak sumber gempa, dan kondisi *site* (Tim Pusgen, 2017).

$$\ln Y = F_E(M, \text{mech}) + F_P(R_{JB}, M, \text{region}) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M, z_1) + \varepsilon_n \sigma(M, R_{JB}, V_{S30}) \quad (2.23)$$

c. Persamaan GMPE Campbell-Bozorgnia (2014) NGA

Persamaan GMPE ini sama seperti persamaan sebelumnya yang juga diberlakukan untuk sumber gempa yang berada pada area *shallow crustal*. Pengembangan persamaan ini dilakukan menggunakan model regresi dari data *strong-motion* yang dicatat di seluruh dunia. Jumlah data pengamatan tersebut adalah 15.521 dari 322 peristiwa gempa dengan rentang magnitudo antara M_w 3 sampai M_w 7.9. Jarak sumber gempa yang dapat digunakan dengan persamaan ini maksimum 500 km dengan jarak bidang *rupture* antara 0 sampai 80 km. Bentuk dari persamaan ini dapat dituliskan sebagai berikut (Tim Pusgen, 2017).

$$\ln Y = \begin{cases} \ln PGA; & Y = PGA, T < 0.25 \\ f_{mag} + f_{dis} + f_{flt} + f_{hng} + f_{site} + f_{sed} + f_{hyp} + f_{dip} + f_{attn} \end{cases} \quad (2.24)$$

Dengan,

f_{mag} : fungsi yang nilainya bergantung pada besarnya magnitudo

f_{dis} : fungsi kebergantungan pada sumber ke *site*

f_{flt} : fungsi kebergantungan pada *style faulting*

f_{hng} : fungsi kebergantungan pada efek *hanging wall*

f_{site} : fungsi kebergantungan pada kondisi *site*

f_{sed} : fungsi kebergantungan pada kondisi basin

- f_{hyp} : fungsi kebergantungan pada jarak hiposenter
 f_{dip} : fungsi kebergantungan pada sudut dip
 f_{attn} : fungsi kebergantungan pada *inelastic attenuation*

d. Persamaan GMPE Chiou-Youngs (2014) NGA

Persamaan ini digunakan untuk area *shallow crustal (strike slip, reverse, dan gempa normal)* yang diturunkan untuk percepatan tanah maksimum (PGA) dan *pseudo spectral acceleration* dengan nisbah redaman 5% dengan rentang periode dari 0.001 – 10 detik. Persamaan GMPE Chiou-Youngs (2014) NGA merupakan pengembangan dari persamaan Chiou-Youngs (2008) dengan tambahan informasi untuk pembuatan model koefisien, di mana jarak *rupture* yang digunakan hanya sampai dengan 70 km untuk menghindari bias. Persamaan ini diperoleh dari hasil pengolahan data pada tahun 2008 yang ditambah dengan data pencatatan sampai tahun 2013 yang berjumlah lebih dari 20.000 data dari 243 kejadian gempa di beberapa negara seperti California, Jepang, New Zealand, Taiwan, dan Turki dengan rentang magnitudo antara M_w 3.1 sampai M_w 7,6. Persamaan GMPE ini dijabarkan sebagai berikut (Salsabil dkk., 2018).

$$\ln(y_{ref\ ij}) = c_1 + \left\{ c_{1a} + \frac{c_{1c}}{\cosh(2 \max(M_i - 4.5, 0))} \right\} F_{RVI} + \left\{ c_{1b} + \frac{c_{1d}}{\cosh(2 \max(M_i - 4.5, 0))} \right\} F_{NMI} + \left\{ c_7 + \frac{c_{7b}}{\cosh(2 \max(M_i - 4.5, 0))} \right\} \Delta Z_{TORi} + \left\{ c_{11} + \frac{c_{11b}}{\cosh(2 \max(M_i - 4.5, 0))} \right\} (\cos \delta_i)^2 + c_2(M_i - 6) + \frac{c_2 - c_3}{c_n} \ln(1 + e^{c_n(C_M - M_i)}) + C_4 \ln(R_{RUPij} + (C_5 \cosh(C_6 \cdot \max(M_i - C_{HM}, 0)))) + (C_{4a} - C_4) \ln\left(\sqrt{R_{RUPij}^2 + C_{RB}^2}\right) + \left\{ c_{\gamma 1} + \frac{c_{\gamma 2}}{\cosh(\max(M_i - C_{\gamma 3}, 0))} \right\} \cdot R_{RUPij} + c_8 \max(1 - \left(\frac{\max(R_{RUPij} - 40, 0)}{30}\right) \min\left(\frac{\max(M_i - 5.5, 0)}{0.8}, 1\right) e^{-C_{8a}(M_i - C_{8b})} \Delta DPP_{ij} \quad (2.25)$$

$$\begin{aligned}
& + c_9 \cdot F_{HWij} \cos \delta_i \cdot \left\{ c_{9a} + (1 - c_{9a}) \tanh \left(\frac{R_{RUPij}}{2} \right) \right\} \left\{ 1 - \frac{\sqrt{R_{JBij}^2 + Z_{TORi}^2}}{R_{RUPij} + 1} \right\} \\
\ln(y_{ij}) = & \ln(y_{refij}) + \phi_1 \cdot \min \left(\ln \left(\frac{V_{S30}}{1130} \right), 0 \right) + \phi_2 \cdot \left\{ e^{\phi_8(\min(V_{S30}, 1130) - 360)} - \right. \\
& \left. e^{\phi_8(11360 - 360)} \right\} \cdot \ln \left(\frac{y_{refij} e^{\eta_i + \phi_4}}{\phi_4} \right) + \phi_5 \cdot \left\{ 1 - e^{-\Delta Z_{1.0j} / \phi_6} \right\} + \eta_i
\end{aligned} \tag{2.26}$$

Dengan,

- M** : magnitudo momen
- R_{RUP}** : jarak terdekat ke bidang *rupture* (km)
- R_{JB}** : jarak Joiner-Boore (km)
- R_X** : koordinat *site* (km) tegak lurus terhadap *trace fault*
- F_{HW}** : *hanging wall flag*; 1 untuk $R_X > 0$ dan 0 untuk $R_X < 0$
- δ** : sudut *dip rupture*
- Z_{TOR}** : kedalaman puncak *rupture* (km)
- F_{RV}** : 1 untuk $30^0 \leq \lambda \leq 150^0$ dan $F_{RV} = 0$ untuk yang lain (*reverse* dan *reverse-oblique*)
- F_{NM}** : 1 untuk $-120^0 \leq \lambda \leq -60^0$ dan $F_{NM} = 0$ untuk yang lain (*normal* dan *normal-oblique*)
- V_{s30}** : kecepatan geser rata-rata untuk kedalaman tanah 30 m paling atas (m/s)
- Z_{1.0}** : kedalaman dengan nilai kecepatan rambat gelombang geser 1 km/s
- $\Delta Z_{1.0}$** : nilai rata-rata $Z_{1.0}$ untuk model spesifik California
- DPP** : *direct point* parameter untuk *directivity effect*
- ΔDPP** : nilai rata-rata DPP

II.7 Interpolasi Natural Neighbor

Interpolasi Natural Neighbor merupakan metode yang bersifat lokal yang hanya menggunakan sampel yang berada di sekitar titik yang ingin diinterpolasi sehingga hasil yang diperoleh akan mirip dengan ketinggian titik sampel yang digunakan sebagai nilai masukan pada proses interpolasi. Nilai *weight* (ω) pada metode interpolasi ini dihitung berdasarkan luas area di sekitar titik-titik yang akan diinterpolasi dan bukan berdasarkan jarak (Pasaribu dan Haryani, 2012). Jika p_i dan q_i merupakan area Thiessen Poligon dari titik-titik sampel z_i sebelum dan sesudah penambahan z^* , maka bobot (*weight*) untuk titik sampel z_i dirumuskan sebagai berikut (Febriarta dkk., 2020).

$$\omega_i = \frac{(p_i - q_i)}{p_i} \quad (2.27)$$

II.8 Regresi dan Korelasi Linear Sederhana

Regresi linear (*linear regression*) adalah teknik yang digunakan untuk memperoleh model hubungan antara satu variabel dependen dengan satu atau lebih variabel independen. Jika hanya menggunakan satu variabel bebas dalam model, maka teknik tersebut adalah regresi linear sederhana (*simple linear regression*). Regresi linear (*linear regression*) adalah teknik yang digunakan untuk memperoleh model hubungan antara satu variabel dependen dengan satu atau lebih variabel independen. Jika hanya menggunakan satu variabel bebas dalam model, maka teknik tersebut adalah regresi linear sederhana (*simple linear regression*). Apabila menggunakan beberapa variabel bebas, maka teknik ini disebut sebagai regresi linear ganda (*multiple linear regression*). Persamaan regresi linear sederhana secara matematik diekspresikan sebagai berikut (Dwiyanti dkk., 2020).

$$Y = a + bX \quad (2.28)$$

Besarnya konstanta a dan b dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut.

$$a = \frac{(\sum Y_i)(\sum X_i^2) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (2.29)$$

$$b = \frac{n(\sum X_i Y_i) - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (2.30)$$

Dengan,

n : jumlah data

Y : garis regresi atau variabel *response*

a : konstanta

b : konstanta regresi

X : variabel bebas

II.8.1 Koefisien Korelasi

Analisis korelasi dapat didefinisikan sebagai metode yang digunakan untuk mengukur keeratan hubungan antara dua variabel. Dari analisis yang dilakukan diperoleh suatu nilai yang disebut sebagai koefisien korelasi. Secara matematis koefisien korelasi dirumuskan sebagai berikut.

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{(n \sum X^2 - (\sum X)^2)(n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \quad (2.31)$$

Dengan,

r : koefisien korelasi

X : variabel independen

Y : variabel dependen

n : banyaknya sampel

Koefisien korelasi dapat bernilai positif atau negatif yang berkisar antara -1 sampai dengan +1. Korelasi positif menunjukkan keeratan hubungan antara variabel X dan Y yang searah, sedangkan korelasi negatif menunjukkan keeratan hubungan antara variabel X dan variabel Y yang berlawanan. Interpretasi terhadap koefisien korelasi ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut (Astuti, 2017).

Tabel 2.2 Interpretasi terhadap Koefisien Korelasi (Astuti, 2017).

Besar Koefisien Korelasi (Positif atau Negatif)	Interpretasi Koefisien Korelasi
0,00	Tidak Ada Korelasi
0,01 – 0,20	Korelasi Sangat Lemah
0,21 – 0,40	Korelasi Lemah
0,41 – 0,70	Korelasi Sedang
0,71 – 0,99	Korelasi Tinggi
1,00	Korelasi Sempurna

II.8.2 Koefisien Determinasi

Koefisien determinasi (R^2) merupakan proporsi dari total variasi variabel terikat oleh garis regresi. Koefisien determinasi adalah kuadrat koefisien korelasi. Koefisien determinasi menunjukkan sejauh mana kontribusi variabel bebas dalam model regresi mampu menjelaskan variasi dari variabel terikatnya. Nilai koefisien determinasi yaitu antara 0 dan 1, jika nilainya mendekati 1 artinya variabel independen memberikan hampir semua informasi yang dibutuhkan untuk memprediksi variabel dependen. Sebaliknya, jika nilai koefisien determinasi semakin kecil mengartikan bahwa kemampuan variabel independen dalam menjelaskan variabel dependen cukup terbatas (Ariyani dan Arifin, 2021).

II.8.3 Kesalahan Baku Estimasi (Standar *Error*)

Kesalahan baku estimasi atau selisih taksir standar regresi adalah nilai yang menyatakan seberapa jauh menyimpangnya nilai regresi terhadap nilai sebenarnya. Nilai ini digunakan untuk mengukur tingkat ketepatan suatu model regresi dalam menduga nilai. Apabila nilai ini sama dengan nol, maka penduga tersebut memiliki tingkat ketepatan 100%. Standar *error* dipengaruhi oleh banyaknya sampel, semakin banyak sampel maka akan semakin kecil pula standar *error* yang dihasilkan sehingga sampel semakin representatif (mewakili). Berikut merupakan persamaan dari standar *error* pada regresi linear sederhana (Ariyani dan Arifin, 2021).

$$Se = \sqrt{\frac{\sum(Y - \hat{Y})^2}{n - 2}}$$

Dengan,

Se : kesalahan baku

Y : variabel bergantung

\hat{Y} : persamaan regresi

n : banyaknya sampel