

**ANALISIS *GROUND SHEAR STRAIN* (GSS)
MENGUNAKAN METODE HVSR
DI KECAMATAN KASIHAN BANTUL YOGYAKARTA**
SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana
dalam Ilmu Fisika



Oleh :

Shofi'atur Rofi'ah

NIM: 1608026023

**PRODI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2021**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Shofi'atur Rofi'ah

NIM : 1608026023

Jurusan : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

**ANALISIS *GROUND SHEAR STRAIN* (GSS) MENGGUNAKAN
METODE HVSR DI KECAMATAN KASHAN BANTUL
YOGYAKARTA**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 25 Agustus 2021

Pembuat Pernyataan



Shofi'atur Rofi'ah

NIM. 1608026023



KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Prof. Dr. Hamka Km. 02 Ngaliyan Telepon
(024)76433366 Semarang 50185

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : *Analisis Ground Shear Strain (GSS)*
Menggunakan Metode HVSR di Kecamatan
Kasihan Bantul Yogyakarta

Penulis : Shofi'atur Rofi'ah

NIM : 1608026023

Jurusan : Fisika

Telah diujikan dalam sidang munaqasyah oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam ilmu Fisika.

Semarang, 14 Oktober 2021

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang

Andi Fadlan, M. Sc

NIP.198009152005011006

Penguji I,

Wulkomah, M. Sc

NIP.199011262019032021

Pembimbing I,

Andi Fadlan, M. Sc

NIP.198009152005011006

Sekretaris Sidang,

Yusuf Badi Poernomo, M. Pd

NIP.197602142008011011

Penguji II,

Agus Subarjanto, M. Si

NIP.197708232009121001

Pembimbing II,

Yusuf Badi Poernomo, M. Pd

NIP.197602142008011011

NOTA DINAS

Semarang, 7 April 2021

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang
di Semarang

Assalamu'alaikum wr. wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **Analisis *Ground Shear Strain* (GSS) Menggunakan Metode HVSR di Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta**

Nama : Shofi'atur Rofi'ah

NIM : 1608026023

Jurusan : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diajukan dalam sidang Munaqasyah.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Pembimbing I,



Andi Fadllan, M. Sc

NIP.19800915 200501 1 006

NOTA DINAS

Semarang, Agustus 2021

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Walisongo Semarang

di Semarang

Assalamu'alaikum wr. wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **Analisis *Ground Shear Strain* (GSS) Menggunakan Metode HVSR di Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta**

Nama : Shofi'atur Rofi'ah

NIM : 1608026023

Jurusan : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diajukan dalam sidang Munaqasyah.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Pembimbing II,



Poko Budi Poernomo, M. Pd

NIP. 19760214 200801 1 011

ABSTRAK

Penelitian mengenai GSS (*Ground Shear Strain*) menggunakan metode HVSR bertujuan untuk mengetahui nilai GSS dan fenomena yang terjadi di kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta. Data mikrotremor yang digunakan sebanyak 30 titik dengan jarak antar titik 1 km. Data mikroseismik diperoleh dari BMKG Yogyakarta menggunakan metode HVSR untuk memperoleh nilai f_0 dan A_0 . Nilai K_g didapat dari perbandingan f_0 dan A_0 . Nilai PGA ditentukan dengan metode kanai menggunakan parameter gempa Yogyakarta tahun 2006. Nilai GSS digunakan untuk mengetahui nilai regangan tanah terhadap gempabumi. Nilai GSS dapat dihasilkan dari perkalian antara nilai K_g dan PGA. Nilai GSS di kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta berkisar antara $2,58 \times 10^{-4}$ sampai $7,52 \times 10^{-3}$. Berdasarkan perolehan nilai GSS di kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta fenomena yang terjadi tidak parah hanya 10^{-4} , sehingga fenomena yang terjadi tidak mengakibatkan likuifikasi hanya berupa getaran, penurunan tanah dan retak.

Kata Kunci: HVSR, K_g , PGA, GSS

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah atas rahmat Allah SWT penulis dapat melaksanakan penelitian skripsi tanpa hambatan. Sholawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SWT yang kita tunggu syafaatnya kelak.

Judul skripsi “Analisis *Ground Shear Strain* (GSS) Menggunakan Metode HVSR di Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta” dimaksud untuk memperoleh gelar strata-1 Sarjana Sains di Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo. terselesaikannya penulisan skripsi ini tidak lepas dari berbagai pihak. Maka dari itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Agus Sudarmanto, M. Si., selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Walisongo.
2. Andi Fadllan, M. Sc., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dalam penyusunan skripsi.
3. Joko Budi Poernomo, M. Pd., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan skripsi.
4. Orangtua tercinta, Bapak Muh Harun dan Ibu Siti Asiyah serta segenap keluarga yang selalu memberikan doa restu untuk penulis.
5. Suami tercinta Abdullah Khandik, S.Sos yang tidak bosan memberi semangat penulis dalam mengerjakan skripsi.

6. Teman-teman jurusan Fisika 2016 yang telah bersedia menjadi teman diskusi serta memberi masukan dalam penyusunan skripsi.
7. Teman-teman Ikatan Mahasiswa Fisika (IMF) yang telah memberikan tempat untuk bertukar informasi serta pengalaman.

Penyusunan skripsi ini masih belum sempurna dan masih banyak kekurangan. Mohon kritik dan saran demi kemajuan Bersama. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis khususnya dan para pembaca umumnya.

Semarang, 25 Agustus 2021

Penulis,

Shofi'atur Rofi'ah

NIM 1608026023

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PENGESAHAN.....	iii
NOTA DINAS.....	iv
ABSTRAK.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I : PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	7
C. Tujuan Penelitian	7
D. Manfaat Penelitian.....	8
BAB II: TINJAUAN PUSTAKA.....	9
A. Kajian Pustaka	9
B. Kajian Teoritik.....	12
1. Gelombang Seismik	12
2. Gempabumi.....	17
3. Gempabumi dalam Perspektif Al-Qur'an....	18
4. Penyebab terjadinya Gempabumi	21
5. Parameter Sumber Gempabumi.....	22
6. Metode Mikroseismik.....	23
7. HVSR.....	25

8. Parameter Seismik.....	29
a. Amplifikasi	29
b. Frekuensi Dominan	30
c. Indeks Kerentanan Seismik (Kg).....	32
d. Percepatan Tanah Maksimum (PGA).....	33
e. <i>Ground Shear Strain (GSS)</i>	38
C. Hipotesis	42
BAB III : METODE PENELITIAN	43
A. Desain dan Jenis Penelitian	43
B. Tempat dan Waktu Penelitian.....	43
1. Tempat Penelitian	43
2. Waktu Penelitian	46
C. Variable Penelitian.....	46
D. Alat dan Bahan Penelitian	46
1. Alat Penelitian.....	46
2. Bahan Penelitian.....	47
E. Metode Analisis Data	48
F. Diagram Alir Penelitian.....	52
BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN.....	53
A. Hasil Penelitian	53
B. Analisis Data.....	55
C. Pembahasan	60
BAB V : PENUTUP	72
A. Kesimpulan	72

B. Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN.....	78

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 2. 1	Sumber microtremor berdasarkan nilai frekuensi	24
Tabel 2. 2	Klasifikasi Tanah berdasarkan Nilai Frekuensi Predominan Mikrotremor oleh Kanai	31
Tabel 2. 3	Nilai Intensitas Gempabumi skala MMI	36
Tabel 2. 4	Tingkat Resiko Gempabumi	38
Tabel 2. 5	Hubungan antara nilai regangan dengan sifat dinamis tanah	42
Tabel 4. 1	Data Mikrotremor Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta	54
Tabel 4. 2	Nilai GSS Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 1. 1	Dinamika Tektonik di Indonesia	2
Gambar 2. 1	Gelombang Primer	13
Gambar 2. 2	Gelombang Sekunder	14
Gambar 2. 3	Gelombang Reyleigh	16
Gambar 2. 4	Gelombang Love	17
Gambar 2. 5	Mekanisme gempabumi berdasarkan teori tektonik lempeng	22
Gambar 2. 6	Perangkat Keras Penelitian HVSr	28
Gambar 2. 7	Nilai Kg pada gempabumi di area Marina San Francisco, U. S. A	33
Gambar 3. 1	Lokasi dan Titik Penelitian	45
Gambar 3. 2	Sinyal mikroseismik titik 3	47
Gambar 3. 3	Koordinat titik 3	48
Gambar 3. 4	Proses <i>Windowing</i>	49
Gambar 3. 5	Kurva HVSr titik 9	50
Gambar 4. 1	Kurva H/V titik 28	56
Gambar 4.2	Peta Kontur Indeks Kerentanan Seismik	62
Gambar 4.3	Peta Kontur Peta Percepatan Tanah Maksimum	65
Gambar 4.4	Peta <i>Ground Shear Strain</i>	68

BAB I

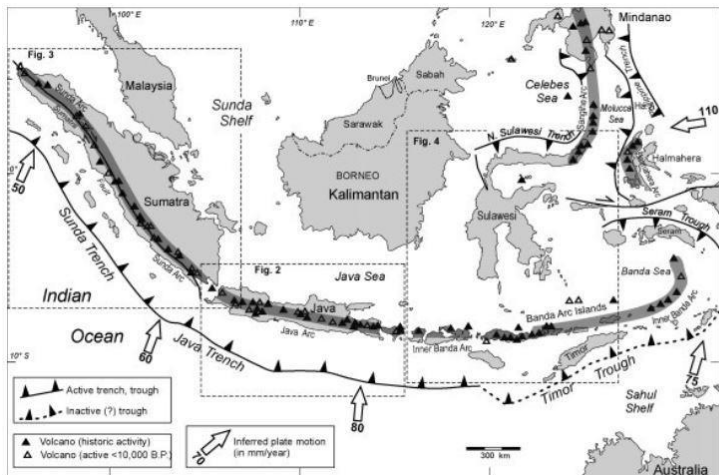
PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bencana alam adalah suatu peristiwa alam yang mengakibatkan dampak besar bagi manusia. Peristiwa alam dapat berupa banjir, gunung berapi, gempa bumi, dan sebagainya. Gempabumi merupakan guncangan besar dan kuat akibat penimbunan energi elastik atau *strain* dalam waktu yang lama secara kontinyu yang diakibatkan oleh proses pergerakan lempeng benua dan samudra (Nandi, 2006). Wilayah Indonesia sangat rawan terhadap gempabumi dikarenakan sebagian besar wilayah Indonesia berada alam Kawasan "*Ring of Fire*" atau cincin api Pasifik yang akibat pergerakan lempeng-lempeng tektonik (Pusgen, 2017).

Letak Indonesia secara astronomis membentang $6^{\circ}\text{LU} - 11^{\circ}\text{LS}$ dan $95^{\circ}\text{BT} - 141^{\circ}\text{BT}$, sedangkan secara geografis wilayah Indonesia dilewati tiga pertemuan lempeng aktif yaitu lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik. Lempeng Indo-Australia merupakan lempeng yang bertabrakan dengan dengan lempeng Eurasia, dimana Lempeng Indo-Australia menunjam ke bawah Lempeng Eurasia di lepas pantai Sumatera, Jawa dan Nusa Tenggara dengan kecepatan sekitar 7cm per tahun (Andriyani,

dkk., 2011). Zona subduksi terbentuk karena adanya interaksi antar lempeng dicirikan dengan aktivitas gempa bumi. Menurut Kertapati (2006) dalam penelitian Setiawati (2016) gempa bumi tektonik merupakan pergerakan antar lempeng dengan melepaskan sejumlah energi yang telah terkumpul sekian lama secara tiba-tiba, sehingga menimbulkan getaran gempa bumi dengan nilai yang beragam. Dinamika tektonik di Indonesia ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Dinamika Tektonik di Indonesia (Hochstein dan Sudarman, 2008)

Wilayah Yogyakarta merupakan bagian dari jalur gempa bumi yang terbentang dari Pulau Sumatera, Jawa, Bali hingga Nusa Tenggara yang termasuk zona subduksi lempeng Indo-Australia-Eurasia.

Pertemuan dua lempeng ini menyebabkan Yogyakarta sangat rentan terhadap gempa bumi dan sesar lokal. (Daryono, 2009). Gempabumi yang terjadi pada 27 Mei 2006 berkekuatan 5,9 skala *Richter* telah menimpa daerah Yogyakarta dan sekitarnya meliputi daerah Bantul, Kulonprogo, Gunung Kidul, Sleman, Karanganyar, Klaten dan Prambanan. Sumber gempa berpusat pada kedalaman 11,8 km, dari garis pantai dengan *episentrum* di dasar Samudra Hindia (Purwanti, 2016). Gempabumi Yogyakarta merupakan gempabumi yang merusak dan menimbulkan korban jiwa yang cukup signifikan khususnya di kecamatan Kasihan Bantul (Pusgen, 2017).

Kecamatan Kasihan merupakan daerah yang rawan terhadap bencana seperti gempabumi, tanah longsor, curah hujan tinggi dan kekeringan (Purnamawati, 2013). Bentangan wilayah Kecamatan Kasihan berada di dataran rendah berupa daerah datar, berombak, lereng dan berbukit yang menyebabkan kecamatan Kasihan termasuk salah satu daerah yang rawan terhadap bencana sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui daerah yang rawan apabila terjadi gempabumi.

Nilai GSS diperoleh dari data mikrotremor yang diolah menggunakan metode HVSR (*Horizontal to*

Vertical Spectral Ratio). Menurut Nakamura (1989) metode analisis HVSR digunakan untuk menghitung rasio spektrum *Fourier* dari sinyal mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya. Hasil analisis HVSR menunjukkan spektrum frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) yang menggambarkan karakteristik dinamis tanah (Nakamura, 2000).

Seed dan Schnadel (1972) dalam penelitian Sudrajat Arif (2017) menyatakan kerusakan struktur bangunan akibat gempa dan intensitas guncangan tanah dapat dipengaruhi oleh kondisi geologi dan kondisi tanah setempat dimana batuan sedimen merupakan salah satu faktor penguat amplitudo gelombang gempa. Gelombang yang terjebak di lapisan lunak akan mengalami superposisi antar gelombang. Jika gelombang tersebut memiliki frekuensi yang sama, maka terjadi proses resonansi gelombang gempa yang saling menguatkan. Oleh sebab itu, kerusakan akibat gempa bumi di daerah kawasan sedimen lunak lebih parah dibanding daerah dengan struktur tanah yang keras.

Konsep pemodelan dalam mitigasi bencana dapat dilakukan dengan menganalisis nilai GSS (*Ground Shear Strain*), dimana GSS adalah kemampuan suatu

lapisan tanah untuk meregang dan menggeser apabila terjadi gempa bumi. GSS dapat digunakan untuk mengetahui dampak yang terjadi saat gempa bumi, seperti likuifaksi, tanah retak, penurunan tanah, tanah longsor dan bergetarnya tanah (Setiawati, 2016).

Yulistiani (2017) mengatakan bahwa parameter yang berpengaruh dalam menentukan nilai *Ground Shear Strain* (GSS) adalah percepatan tanah maksimum dan indeks kerentanan seismik. Nilai Percepatan tanah maksimum adalah nilai percepatan getaran tanah terbesar yang terjadi di suatu tempat akibat dari gelombang gempa bumi, sedangkan indeks kerentanan seismik merupakan tingkat kerawanan suatu wilayah terhadap gempa bumi. Daerah yang memiliki nilai GSS tinggi berpotensi mengalami gerakan tanah, salah satu fenomenanya yaitu likuifaksi. Fenomena likuifaksi muncul ketika terjadi gempa bumi dan dapat menjadi salah satu faktor meningkatnya kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi.

Ishihara (1982) dalam jurnal daryono, dkk (2018) menyatakan bahwa semakin besar nilai *ground shear strain* menyebabkan lapisan tanah mudah mengalami longsor, rekahan dan likuifikasi. Semakin kecil nilai *ground shear strain* maka kondisi tanah semakin stabil. Pada *strain* 10^{-6} kondisi tanah hanya mengalami

getaran, tetapi pada strain 10^{-2} lapisan tanah mengalami longsoran dan likuifikasi.

Beberapa penelitian yang berpengaruh dengan “Analisis Struktur bawah permukaan menggunakan metode HVSR di Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta” diantaranya dilakukan oleh Yuni Setyawati (2016) mahasiswa Universitas Negeri Yogyakarta yang berjudul “*Analisis GSS (Ground Shear Strain) dengan Metode HVSR menggunakan Data Mikroseismik Pada Jalur Sesar Opak*”. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai GSS di jalur Sesar Opak berkisar $3,9 \times 10^{-5} - 5,3 \times 10^{-5}$. Daerah penelitian yang memiliki GSS tertinggi di Kabupaten Bantul berada di daerah Sanden dan terendah di daerah Piyungan. Fenomena yang terjadi getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah.

Penelitian yang dilakukan oleh Ella Rosita Dewi (2013) mahasiswa UIN Sunan Kalijaga dengan judul “*Analisis Ground Shear Strain di Wilayah Kecamatan Jetis Kabupaten Bantul Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor menunjukkan adanya bahaya gerakan tanah*”. Hasil penelitian menunjukkan nilai *Ground shear strain* di Kecamatan Jetis berkisar antara $1,2 \times 10^{-4} - 6 \times 10^{-4}$. Fenomena bahaya gerakan tanah

akibat dari *ground shear strain* adalah getaran tanah, penurunan tanah dan rekahan tanah.

Nilai GSS dapat digunakan untuk menggambarkan resiko kerusakan akibat gempa, sehingga dapat dijadikan sebagai sumber informasi mitigasi bencana gempabumi di suatu daerah khususnya area Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian untuk menganalisis *Ground Shear Strain* (GSS) Menggunakan Metode HVSr di Kecamatan Kasihan Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa nilai GSS (*Ground Shear Strain*) di Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta?
2. Bagaimana tingkat potensi kerawanan gempabumi di wilayah Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta berdasarkan analisis nilai GSS?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui nilai GSS (*Ground Shear Strain*) di Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta.
2. Untuk mengetahui tingkat potensi kerawanan gempabumi di wilayah Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta berdasarkan analisis nilai GSS.

D. Manfaat Penelitian

Berdasarkan rumusan dan tujuan penelitian diatas, maanfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai struktur bawah permukaan berdasarkan analisis nilai GSS (*Ground Shear Strain*) untuk mengetahui tingkat kerawanan gempa di Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta.
2. Data hasil penelitian dapat dijadikan acuan atau referensi dalam pembangunan insfrastruktur tahan gempa sebagai media mitigasi gempabumi.
3. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi perbandingan atau acuan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kajian Pustaka

Kajian pustaka mempunyai peran penting dalam mendapatkan informasi yang sudah ada pada penelitian sebelumnya yang pernah diteliti. Beberapa kajian pustaka yang digunakan sebagai referensi sebagai berikut:

Penelitian yang dilakukan oleh Rizki Laili Zakiyati (2020) mahasiswa UIN Walisongo Semarang yang berjudul "*Analisis Kecepatan Gelombang Geser (Vs30) berdasarkan Metode Ellipcity Curve di Kecamatan Piyungan Kabupaten Bantul*". Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kecepatan gelombang geser (Vs30) berada pada interval 276,15 m/s – 866,26 m/s. nilai tersebut diklasifikasikan menjadi 3 zona berdasarkan SNI 1726:2012. Kecamatan Piyungan memiliki tingkat kerawanan seismik relative kecil karena didominasi oleh tanah sedang, tanah keras, sangat padat, batuan lunak dan batuan.

Penelitian yang dilakukan oleh Arika Purwanti (2016) mahasiswa UIN Sunan Kalijaga yang berjudul "*Analisis Tingkat Resiko dari Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) Berdasarkan Data Mikroseismik di Sekitar Jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul Yogyakarta*".

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai PGA di Daerah Sesar Opak Kabupaten Bantul berdasarkan nilai Frekuensi dominan dan Amplifikasi sebesar 140,179 Gal sampai 304,523 Gal dengan kondisi tingkat kerusakan meliputi resiko besar satu, resiko besar dua, resiko besar tiga dan resiko sangat besar satu.

Penelitian yang dilakukan oleh Yuni Setyawati (2016) mahasiswa Universitas Negeri Yogyakarta yang berjudul "*Analisis GSS (Ground Shear Strain) dengan Metode HVSR menggunakan Data Mikroseismik Pada Jalur Sesar Opak*". Nilai GSS di sepanjang jalur Sesar Opak berkisar $3,9 \times 10^{-5} - 5,3 \times 10^{-5}$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah sanden memiliki GSS tertinggi dan daerah terendah berada di daerah Piyungan. Fenomena yang mungkin terjadi yaitu getaran, keretakan tanah dan penurunan tanah.

Penelitian yang dilakukan oleh Ella Rosita Dewi (2013) mahasiswa UIN Sunan Kalijaga dengan judul "*Analisis Ground Shear Strain di Wilayah Kecamatan Jetis Kabupaten Bantul Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor menunjukkan adanya bahaya gerakan tanah*". Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *Ground shear strain* di Kecamatan Jetis berkisar antara $1,2 \times 10^{-4} - 6 \times 10^{-4}$. Fenomena bahaya gerakan

tanah akibat dari *ground shear strain* yang didapat adalah getaran tanah, rekahan tanah dan penurunan tanah.

Penelitian yang dilakukan oleh Daryono, dkk, (2018) dari BMKG Jakarta dalam jurnal yang berjudul "*Hubungan antara Indeks Kerentanan Seismik dan Rasio Kerusakan pada Satuan Bentuklahan di Zona Graben Bantul Yogyakarta*" menunjukkan bahwa nilai rata-rata *ground shear strain* paling besar terdapat pada satuan bentuklahan dataran Fluviovulkanik Merapi Muda ($\gamma = 3.402 \times 10^{-6}$) sedangkan nilai rata-rata *ground shear strain* paling kecil terdapat pada satuan bentuklahan Perbukitan Struktural Formasi Sentolo ($\gamma = 36 \times 10^{-6}$). Hasil ini menunjukkan bahwa besarnya *ground shear strain* sangat dipengaruhi oleh tingkat kekompakan material penyusunnya.

Berdasarkan penelitian-penelitian di atas, dapat ditunjukkan bahwa untuk mengetahui dampak yang terjadi saat gempa bumi dapat menggunakan analisis GSS dapat digunakan. Nilai indeks kerentanan seismik dan nilai PGA dapat digunakan untuk mengetahui dan menganalisis tingkat resiko kerusakan akibat gempabumi. Perbedaan penelitian terletak pada tempat yang akan diteliti.

B. Kerangka Teoritik

1. Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang mekanik, gelombang ini merambat ke seluruh permukaan bumi yang berasal dari sumber aktivitas seismik seperti gempa bumi, erupsi gunung berapi, longsor, dan sebagainya. Menurut Telford (1990) tipe gelombang berdasarkan penjarannya terdiri dari gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*).

a. Gelombang Badan

Gelombang badan adalah gelombang yang menjalar dalam media elastik dan arah perambatannya ke seluruh bagian di dalam bumi. Berdasarkan gerak partikel pada media dan arah penjarannya, gelombang ini dapat dibedakan menjadi gelombang P dan gelombang S.

1) Gelombang Primer

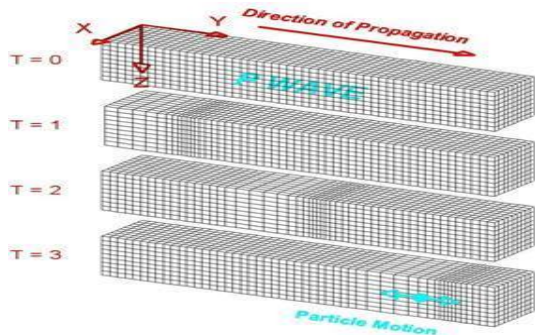
Gelombang Primer merupakan gelombang longitudinal. Gelombang P merupakan gelombang primer yang merambat lebih cepat dan datang pertama kali serta lebih tajam karena kandungan frekuensinya lebih tinggi. Kecepatan

gelombang P dalam padatan sekitar 1.8 sampai 7 km/detik, dan periodenya terletak antara 5 sampai 10 ms (Haerudin, Alami dan Rustadi, 2019).

Persamaan kecepatan gelombang P dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (2.1)$$

dengan V_p adalah kecepatan gelombang primer (km/detik), λ adalah rigiditas/kekakuan batuan, k adalah Modulus Bulk dan μ konstanta dan ρ adalah densitas/kerapatan batuan.



Gambar 2.1 Gelombang Primer (Braile, 2006)

2) Gelombang Sekunder

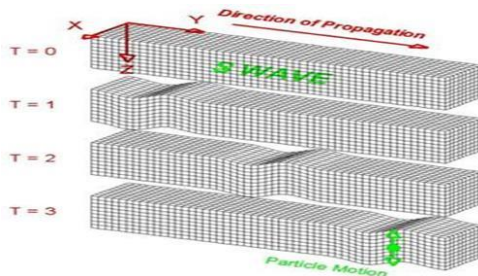
Gelombang Sekunder merupakan gelombang transversal (*shear wave*)

dimana gerakan partikelnya tegak lurus terhadap arah rambatnya seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2. Gelombang sekunder memiliki waktu tiba setelah gelombang Primer ditandai dengan amplitudo yang lebih besar daripada gelombang P dan kandungan frekuensinya lebih rendah, periodenya berkisar antara 11 sampai 13 ms (Haerudin, Alami dan Rustadi, 2019).

Persamaan kecepatan gelombang sekunder dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

dengan V_s adalah kecepatan gelombang sekunder (km/detik), μ konstanta dan ρ adalah densitas /kerapatan batuan.



Gambar 2.2 Gelombang Sekunder (Braile, 2006)

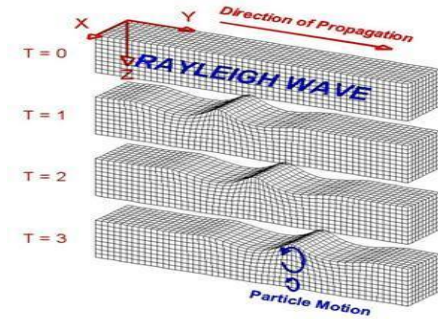
b. Gelombang Permukaan

Gelombang permukaan merupakan gelombang yang penjarannya pada permukaan bumi. Amplitudo gelombang ini akan semakin melemah jika semakin menjalar masuk ke dalam inti bumi. Berdasarkan pada sifat gerakan partikel media elastik, gelombang permukaan merupakan gelombang yang kompleks dengan frekuensi rendah dan amplitudo besar, yang menjalar akibat adanya efek *free surface* dimana terdapat perbedaan sifat elastik. Jenis dari gelombang permukaan ada dua yaitu:

1) Gelombang Rayleigh

Rayleigh merupakan suatu gelombang permukaan yang gerak partikel medianya diakibatkan oleh gelombang P dan S (Haerudin, Alami dan Rustadi, 2019). Interferensi gelombang pantul P dan SV (sekunder vertikal) akan membentuk gelombang Rayleigh yang sudut datangnya melebihi sudut kritis. Bentuk gelombang rayleigh merupakan kombinasi dari gerak

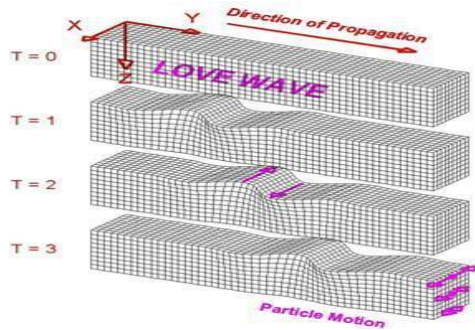
partikel gelombang P dan SV (sekunder vertikal) membentuk elips.



Gambar 2.3 Gelombang Rayleigh
(Braile,2006)

2) Gelombang Love

Gelombang love merupakan gelombang yang arah rambat partikelnya bergetar melintang terhadap penjalarannya. Gelombang love terbentuk akibat adanya interferensi gelombang-gelombang pantul gelombang SH (sekunder Horizontal) pada suatu lapisan dekat permukaan bumi. Gelombang love lebih cepat tercatat pada seismograf dibandingkan dengan gelombang *Rayleigh*.



Gambar 2. 4 Gelombang Love (Braile, 2006)

2. Gempabumi

Gempabumi adalah suatu gejala fisik yang ditandai dengan bergetarnya bumi dengan berbagai intensitas. Gempabumi terjadi akibat pelepasan energi secara tiba-tiba di bagian kerak bumi. Energi ini dapat berasal dari sumber yang berbeda, seperti dislokasi kerak, letusan gunung api, runtuhnya rongga bawah tanah pada batuan karst atau oleh ledakan buatan manusia. Namun gempabumi didefinisikan sebagai gangguan alami yang dipicu oleh dislokasi bagian kerak. Gempabumi menghasilkan getaran dan guncangan yang besarnya beragam. Getaran dan guncangan yang ditimbulkan bisa sangat dahsyat dan mampu meruntuhkan infrastruktur yang dibangun manusia, namun bisa saja berupa getaran kecil tidak dirasakan oleh manusia dan hanya terekam

oleh seismometer (Haerudin, Alami dan Rustadi, 2019). Gempabumi merupakan hentakan besar yang terjadi sekaligus akibat penimbunan energi elastik atau *strain* dalam waktu yang lama secara kontinyu akibat dari adanya proses pergerakan lempeng benua dan samudra (Nandi, 2006).

3. Gempabumi dalam Perspektif Al-Qur'an

Pergerakan lempeng bumi sering dikaitkan dengan gempa bumi. Tanah (bumi) jika mendapat tegangan yang di luar batas elastisitasnya akan menimbulkan perpecahan (*capture*) dan ketika ini terjadi gerakan meluncur relatif terjadi di antara sisi-sisi yang berlawanan dan menghasilkan apa yang disebut *geological fault* (Makmun-abha, 2013).

Kedasyatan gempabumi sudah dijelaskan di dalam Al-Qur'an sejak berabad-abad lalu. Azab bagi mereka yang lalai terhadap perintah dan larangan kepada Allah SWT sering digambarkan melalui peristiwa gempabumi. Gempabumi merupakan fenomena alam paling mengerikan dan banyak memakan korban. Tidak ada makhluk hidup di bumi yang bisa menghindar dari bencana gempabumi. Ada beberapa pemaknaan yang

serupa dengan sifat-sifat gempabumi sebagai berikut:

- a. (زلزل) Zalzalah yang mempunyai arti goncangan
- b. (رجف) Rajafa yang mempunyai arti goncangan
- c. (رج) Rojja yang mempunyai arti goyang
- d. (دك) Dakka yang mempunyai arti roboh.

Dalam arti kata di atas akan mendapatkan sebuah kejadian gempa bumi ketika empat kata di atas disandingkan dengan kata selanjutnya sebagai sebuah kejadian atau fenomena gempa, seperti (الارض) al-'ard.

Surat al-waqi'ah ayat 4 merupakan salah satu surat yang menceritakan langsung mengenai fenomena gempabumi yang juga diikuti oleh sebab-akibat dari kejadian gempabumi tersebut.

إِذَا رُجَّتِ الْأَرْضُ رَجًا

Artinya:” Apabila bumi digoncangkan sedasyat-dasyat-Nya”. (QS. Al-Waqi'ah [56]:4).

Menurut surat al-Waqi'ah ayat 4, kata gempabumi didapatkan pada penyebutan (رُجَّتِ) rujjat yang berarti mengguncang dengan keras, ayat diatas menggunakan bentuk pasif yang mengibaratkan terjadinya gempabumi. Dalam tafsir al-Misbah karangan M Quraish Shihab menyebutkan bahwasannya kata tersebut

mengarah kepada sebuah fenomena alam yang disebut gempa bumi, dengan beberapa perumpamaan gempa bumi yang dahsyat terjadi pada waktu itu. Dari Tafsir al-Manatakhab M. Quraish Shihab memberikan sebuah pendapat mengenai ayat diatas sebagai berikut;

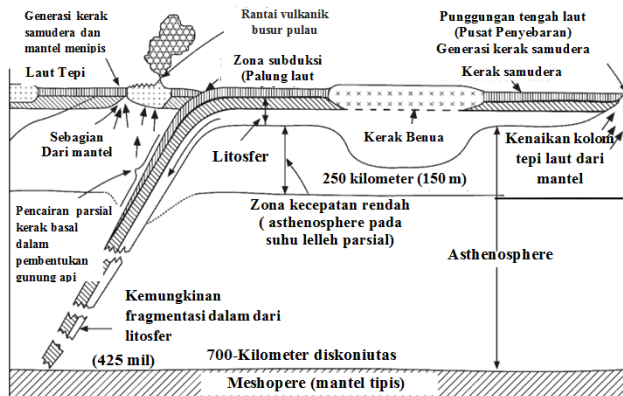
“Bumi yang kita huni ini pada hakikatnya tidak tetap dan tak seimbang. Bumi terdiri atas lapisan batu-batu yang bertumpuk-tumpuk dan tidak teratur. Terkadang lapisannya tidak sama dengan sebelahnya sehingga membentuk apa yang disebut rongga geologi di banyak tempat. Rongga-rongga inilah yang sejak dahulu, bahkan sampai sekarang menjadi pusat terjadinya gempa berskala besar. Itu dimungkinkan karena rongga-rongga itu berada di bawah pengaruh daya tarik-menarik yang sangat kuat yang terjadi saat lapisan-lapisan itu terbelah. Maka apabila kekuatan ini tidak seimbang akibat pengaruh faktor-faktor eksternal lainnya, akan terjadi hentakan yang sangat kuat dan mengakibatkan guncangan bumi yang dapat menghancurkan permukaan bumi terdekat dari pusat gempa”.

4. Penyebab terjadinya Gempabumi

Menurut pendapat para ahli, penyebab terjadinya gempabumi adalah akibat dari aktivitas lempeng tektonik (Setiawati, 2016). Bumi tersusun dari berbagai lempeng, lempeng yang melintasi wilayah Indonesia yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik. Terjadinya gempabumi dapat diakibatkan oleh pergerakan magma gunung berapi sehingga permukaan bumi terpecah menjadi beberapa lempeng tektonik. Lempeng tektonik dapat bergerak bebas karena mengapung di astenosfer yang cair dan panas. Ada tiga interaksi antar lempeng, yaitu apabila kedua lempeng saling menjauhi (*divergen*), saling mendekati (*konvergen*) dan saling geser (*transform*) (Widodo, 2012).

Manusia tidak dapat merasakan pergerakan lempeng tektonik karena berlangsung lambat. Pergerakan lempeng dapat mengakibatkan macet dan saling mengunci, sehingga memerlukan waktu yang lama dalam pengumpulan energinya. Saat batuan pada lempeng tektonik tidak dapat menahan gerakan tersebut, terjadi pelepasan mendadak. Peristiwa ini dapat kita sebut sebagai gempabumi (Thomson, 2006).

Tumbukan antar 2 lempeng di zona subduksi yang saling mendekati dapat menyebabkan tekanan secara kontinyu sehingga memicu terjadinya deformasi, fraktur dan patahan. Tumbukan antar lempeng akan mengalami perubahan dari sifat elastis menjadi rapuh. Gambar 2. 5 memperlihatkan skema terjadinya antar tumbukan. Bagian yang rusak dan terpisah di kedalaman tertentu disebut zona Benioff.



Gambar 2. 5 Mekanisme gempa bumi berdasarkan teori tektonik lempeng (Haerudin, Alami dan Rustadi, 2019)

5. Parameter Sumber Gempabumi

Parameter gempabumi menurut Boen (2000) dalam penelitian Zulianing Sulistiyo (2018) biasanya digambarkan berdasarkan koordinat episenter, hiposenter dan magnitude.

a. Episenter

Episenter adalah titik dimana pusat gempa terjadi yang diproyeksikan ke atas permukaan bumi. Lokasi episenter dinyatakan dalam derajat lintang dan bujur.

b. Hiposenter

Hiposenter adalah kedalaman titik pusat gempa di dalam bumi, ditandai dengan adanya pelepasan energi dari batuan. Kedalaman sumber gempabumi dinyatakan dalam satuan Km.

c. Magnitude

Magnitude gempabumi adalah besar kekuatan gempa yang diukur dalam satuan Skala Richter, besaran ini merupakan perbandingan secara logaritmik dari amplitude gempa yang direkam oleh seismograf terhadap sebaran amplitude gempa lain yang lebih kecil.

6. Metode Mikroseismik

Mikroseismik sering disebut dengan mikrotremor. Mikroseismik adalah aktivitas gelombang seismik yang terjadi secara terus-menerus berukuran kecil, akibat dari gerakan bawah permukaan tanah dan tidak dapat dirasakan

oleh manusia. (Haerudin, Alami dan Rustadi, 2019). Amplitudo mikrometer yang dapat terjadi akibat peristiwa alam ataupun buatan, seperti gelombang laut, angin atau getaran kendaraan yang bisa menggambarkan kondisi geologi suatu wilayah dekat permukaan (Arai dan Tokimatsu, 2005).

Tabel 2. 1 Sumber mikrotremor berdasarkan nilai frekuensi (Gutenberg, 1958) dan (Asten, 1978)

No	Sumber Mikrotremor	Gutenberg	Asten
1	Gelombang laut yang menerjang sepanjang bibir pantai	0,05-0,1 Hz	0,2-1,2 Hz
2	Tremor Vulkanik	2-10 Hz	
3	Kepadatan Penduduk	1-100 Hz	1,4-30 Hz
4	Gangguan Meteorologi Skala besar (Monsom)	0,1-0,25 Hz	0,16-0,5 Hz

Dampak gempabumi di suatu daerah dapat diprediksi menggunakan nilai *Ground Shear Strain*. Hasil pengukuran metode mikroseismik berupa periode dominan, sifat getaran dan pergeseran dari lapisan tanah. Nilai GSS dapat diperoleh dari nilai kerentanan tanah dan nilai percepatan maksimum yang dihasilkan dari metode HVSR.

7. HVSr

Metode HVSr adalah metode yang mengasumsikan fungsi perpindahan rasio spektrum horizontal dan vertikal dari getaran permukaan. Metode HVSr juga dapat menunjukkan karakteristik dinamis suatu lapisan permukaan pada titik penelitian. Pengamatan bentuk gelombang seismik mikrotremor dilakukan pada tiga komponen, yaitu satu komponen vertikal dan dua komponen horizontal (Nakamura, 1989).

Menurut Wibowo (2017) dalam penelitian (Rizki, 2019) parameter nilai frekuensi dominan (f_0) dan amplifikasi (A_0) dalam metode HVSr dapat menggambarkan *local site effect* pada suatu wilayah. *Local site effect* terjadi akibat adanya lapisan lunak yang berada pada setengah cekungan dari batuan dasar.

Menurut penelitian Agustina (2019) banyak peneliti seperti Kassaras, dkk. (2008), Pando, dkk. (2008), SESAME (2004) dan Rodrigues, dkk. (2000) melakukan penelitian mengenai *ambient vibrations* dengan menggunakan metode HVSr. Menurut Nakamura amplifikasi dan periode dominan dari spektra rasio (H/V) memiliki

kesamaan dengan yang ada di lapisan tanah (Partono, 2013). Pada metode HVSR terdapat 2 data komponen horisontal yaitu Utara-Selatan dan Timur-Barat serta satu data komponen vertikal.

Gelombang mikrotremor merupakan gabungan antara gelombang Rayleigh dan gelombang badan. Gelombang Rayleigh merambat pada permukaan tanah sedangkan gelombang badan merambat melalui batuan dasar (Agustina, 2019). Persamaan nilai H/V sebagai berikut:

$$H_f = A_h \times S_{HB} + S_{HS} \quad (2.3)$$

$$V_f = A_v \times S_{VB} + S_{VS} \quad (2.4)$$

Sehingga

$$H/V = \frac{H_f}{V_f} = \frac{A_h \times S_{HB} + S_{HS}}{A_v \times S_{VB} + S_{VS}} \quad (2.5)$$

Keterangan:

- H_f merupakan komponen horisontal
- V_f merupakan komponen vertikal
- A_h merupakan faktor amplifikasi komponen horisontal
- A_v merupakan faktor amplifikasi vertikal
- S_{HB} merupakan spektrum gerak horisontal pada batuan dasar
- S_{VB} merupakan spektrum gerak vertikal pada batuan dasar

- S_{HS} merupakan spektrum gerak horizontal di permukaan tanah
- S_{VS} adalah spektrum gerak vertikal di permukaan tanah.

Nakamura (2000) menyatakan bahwa gelombang Rayleigh merupakan penyusun utama data microtremor. Menurut Daryono & Prayitno (2009) dalam skripsi Rizki (2019) mengatakan bahwa efek gelombang Rayleigh yang terekam memiliki rentang frekuensi (0.2-20 Hz) antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar nilainya mendekati satu ($\frac{S_{VB}}{S_{HB}} = 1$). Site effect (T_{site}) diperoleh dengan membandingkan faktor amplifikasi gerakan horizontal (T_H) dengan faktor amplifikasi gerakan vertikal (T_V).

$$T_H = \frac{H_f}{S_{HB}} \quad (2.6)$$

$$T_V = \frac{V_f}{S_{VB}} \quad (2.7)$$

Sehingga,

$$T_{site} = \frac{T_H}{T_V} = \frac{H_f \times S_{VB}}{S_{HB} \times V_f} \quad (2.8)$$

$$T_{site} = \frac{H_f}{V_f} = \frac{\sqrt{(\text{komponen utara-selatan})^2 + (\text{komponen barat-timur})^2}}{\text{komponen vertikal}} \quad (2.9)$$

Data HVSr dapat dihasilkan dengan melakukan penelitian secara langsung di lapangan. Adapun alat yang digunakan yaitu:

- Sensor Seismometer DS-04 A merupakan suatu massa yang bergerak ke atas dan ke bawah untuk perasa gelombang longitudinal ataupun ke kanan kiri untuk perasa getaran transversal.
- Seismic Data Digitizer TDL 303S digunakan untuk mengubah sinyal logika agar sinyal dapat dibaca komputer.
- Kabel Sensor untuk menghubungkan komponen.
- GPS untuk memberikan informasi penerimaan sinyal satelit.
- Solar Cell sebagai sumber daya peralatan.



Gambar 2. 6 Perangkat Keras Penelitian HVSR (arif sudrajat, 2017)

8. Parameter Seismik

Parameter seismik adalah data-data yang digunakan untuk menentukan akibat terjadinya gempabumi. Adapun parameter seismik, yaitu:

a. Amplifikasi

Menurut Nakamura. dkk, (2000), amplifikasi dapat terjadi akibat adanya perbesaran gelombang. Gelombang seismik akan mengalami perbesaran apabila merambat melalui medium yang lebih lunak. Semakin lunak medium yang dilewati maka semakin besar nilai amplifikasi gelombang yang dihasilkan.

Nilai penguatan amplifikasi tanah dapat dibandingkan dengan impedansi antar lapisan. Apabila perbandingan impedansi kedua lapisan tersebut tinggi maka faktor penguatan yang dihasilkan akan tinggi, begitupun sebaliknya. Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$A_0 = \frac{\rho_b V_b}{\rho_s V_s} \quad (2.10)$$

A_0 adalah faktor amplifikasi yang dihasilkan, ρ_b adalah densitas batuan dasar (m/s), ρ_s adalah densitas batuan lunak (m/s), V_b adalah kecepatan rambat gelombang batuan

dasar (m/s) dan V_s adalah kecepatan rambat gelombang batuan lunak (m/s).

b. Frekuensi Dominan

Frekuensi dominan sering disebut juga frekuensi natural. Frekuensi dominan adalah frekuensi yang kerap kali muncul. Frekuensi dominan dapat digunakan untuk mengklasifikasikan jenis tanah

Frekuensi dominan berkaitan dengan periode dominan. Periode dominan merupakan waktu yang dibutuhkan untuk merambat dalam satu kali pemantulan terhadap bidang pantulnya (Arifin et al., 2014). Perhitungan nilai periode dominan sebagai berikut:

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

T_0 adalah periode dominan dan f_0 adalah frekuensi dominan.

Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah berdasarkan Nilai Frekuensi Predominan Mikrotremor oleh Kanai (Arifin et al,2005)

Klasifikasi Tanah		Frekuensi (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis			
IV	I	6.667-20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan Hard sandy, gravel, dll	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras.
	II	4-10	Batuan <i>alluvial</i> , dengan ketebalan 5m. terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5-10m.
Tipe III	Jenis III	2.5-4	Batuan <i>alluvial</i> , dengan ketebalan >5m. terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori tebal, sekitar 10-30m.
Tipe II	Jenis IV	<2.5	Batuan <i>alluvial</i> , yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dll. Dengan kedalaman 30m atau lebih.	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal.
Tipe I				

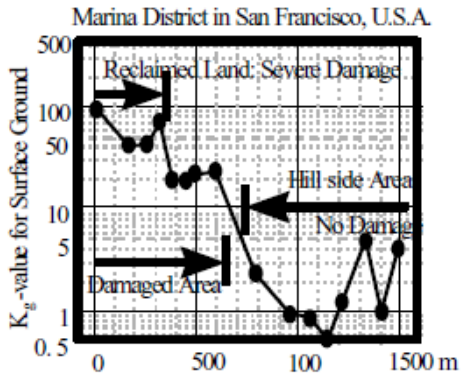
c. Indeks Kerentanan Seismik (K_g)

Indeks kerentanan seismik (K_g) adalah indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan permukaan tanah akibat deformasi saat terjadi gempa bumi. Daerah yang mengalami kerusakan saat gempa bumi dapat diprediksi menggunakan nilai K_g (Susilanto, dkk. 2016).

Nilai indeks kerentanan seismik diperoleh dari hubungan antara frekuensi dominan dan amplifikasi akibat pengaruh gempa bumi. Besarnya nilai K_g dapat digunakan untuk mengidentifikasi titik lokasi pengukuran. Nilai K_g memperlihatkan nilai pengukuran yang digunakan untuk menentukan tingkat ketahanan lapisan bumi, kerentanan tanah dapat dihitung menggunakan rumus:

$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (2.12)$$

K_g merupakan indeks kerentanan seismik. A_0 adalah Amplifikasi (m) dan f_0 adalah frekuensi dominan (Hz).



Gambar 2. 7. Nilai K_g pada gempabumi di area Marina San Francisco, U.S.A (Nakamura, 2000)

Dalam jurnal Nakamura, menjelaskan mengenai kerusakan akibat gempabumi yang terjadi di San Fransisco. Gambar 2. 7 memperlihatkan bahwa pada daerah reklamasi dan kawasan pesisir didominasi oleh batuan lunak. Batuan ini mempunyai nilai K_g yang lebih tinggi sedangkan pada tanah yang keras atau daerah perbukitan memiliki nilai indeks kerentanan seismik yang semakin rendah.

d. *Peak Ground Acceleration (PGA)*

Peak Ground Acceleration sering disebut dengan percepatan tanah maksimum. PGA merupakan nilai percepatan getaran tanah terbesar yang terjadi di suatu tempat akibat adanya gelombang gempabumi. Getaran

seismik yang dihasilkan bergantung pada perambatan gelombang seismik dan karakteristik lapisan tanah (Kanai & Tanaka, 1961).

Getaran seismik yang terjadi pada percepatan tanah bergantung pada perambatan gelombang seismik dan karakteristik lapisan tanah (*alluvial deposit*) (Kanai, 1983). Nilai periode dominan tanah dapat digunakan untuk mengetahui sifat lapisan tanah. Besar kecilnya nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) dipengaruhi oleh nilai periode getaran seismik (T) dan nilai periode dominan (T_0). Semakin tinggi nilai PGA maka semakin besar resiko yang ditimbulkan (Edwiza dan Novita, 2008).

Parameter yang mempengaruhi terjadinya percepatan tanah maksimum adalah periode dominan (T_0), hiposenter (R) dan magnitude (M). Persamaan nilai PGA di daerah penelitian dihitung dengan metode Kanai sebagai berikut:

$$a_{max} = \frac{5}{\sqrt{T_0}} 10^{\left(0,61M - \left(1,66 + \frac{3,6}{R}\right) \log R + \left(0,167 - \frac{1,83}{R}\right)\right)} \quad (2.13)$$

Kerusakan akibat gempabumi berdasarkan hasil pengamatan dapat diukur menggunakan intensitas gempabumi. Percepatan tanah

maksimum merupakan efek terjadinya gempabumi sehingga diperlukan Skala intensitas menunjukkan kerusakan akibat getaran. Satuan intensitas bunyi dinyatakan dalam skala MMI (*Modified Mercalli Intensity*) (Kurniawan, 2016). Nilai satuan ini berkisar dari I sampai dengan X. Berdasarkan perhitungan nilai percepatan tanah maksimum, maka dapat diklasifikasikan seperti pada tabel 2. 3.

Tabel 2. 3 Nilai Intensitas Gempabumi skala MMI
(Haerudin, Alami and Rustadi, 2019)

Intensitas	Efek	PGA (gal)
I	Tidak terasa	<1
II	Dirasakan oleh orang yang beristirahat, terutama di tingkat-tingkat atas bangunan atau tempat tinggi.	1-2
III	Terasa di dalam rumah, seakan ada truk lewat, tetapi banyak yang tidak menyangka ada gempa bumi.	2-5
IV	Terasa di dalam rumah seperti ada truk lewat atau terasa seperti ada barang berat yang menabrak dinding rumah, barang-barang yang tergantung bergoyang-goyang, jendela dan pintu bergetar, barang pecah belah pecah, gelas-gelas gemerincing, dinding dan rangka rumah berbunyi.	5-10
V	Dapat dirasakan di luar rumah. Orang tidur terbangun, cairan tampak bergerak-gerak dan tumpah sedikit, barang perhiasan rumah yang kecil dan tidak stabil bergerak atau jatuh, pintu-pintu terbuka tertutup, pigura-pigura dinding bergerak, lonceng bandul berhenti, mati atau tidak cocok jalannya.	10-25
VI	Terasa oleh semua orang. Banyak orang lari ke luar karena terkejut. Orang yang sedang berjalan kaki terganggu. Jendela berderit, gerabah, barang pecah-belah pecah, barang-barang kecil dan buku jatuh dari raknya, gambar-gambar jatuh dari dinding. Mebel-mebel bergerak atau berputar. Plester dinding yang lemah pecah. Lonceng-lonceng gereja berbunyi, pohon-pohon terlihat bergoyang.	25-50
VII	Dapat dirasakan oleh sopir yang sedang mengemudi mobil. Orang yang sedang berjalan kaki sulit untuk berjalan dengan baik, cerobong asap yang lemah pecah.	50-100

	Langit-langit dan bagian-bagian konstruksi pada tempat yang tinggi rusak. Tembok yang tidak kuat pecah, plester tembok dan batu-batu tembok yang tidak terikat kuat jatuh. Terjadi sedikit pergeseran dan lekukan-lekukan pada timbunan pasir dan batu kerikil. Air menjadi keruh lonceng-lonceng besar berbunyi, selokan irigasi rusak.	
VIII	Pengemudi mobil terganggu. Terjadi kerusakan pada bangunan-bangunan yang kuat karena terdapat bagian-bagian yang runtuh. Kerusakan terjadi pada tembok-tembok yang dibuat tahan terhadap getaran-getaran horisontal dan beberapa bagian tembok runtuh. Cerobong asap, monumen-monumen, menaramenara, dan tangki air yang berada di atas berputar atau jatuh. Rangka rumah berpindah dari fondasinya. Dinding-dinding yang tidak terikat baik jatuh atau terlempar. Ranting-ranting pohon patah dari dahannya. Tanah yang basah dan lereng yang curam terbelah.	100-250
IX	Publik menjadi panik. Bangunan yang tidak kuat hancur. Bangunan yang kuat mengalami kerusakan berat. Fondasi dan rangka bangunan rusak. Pipa dalam tanah putus. Tanah merekah. Di daerah aluvium pasir dan lumpur keluar dari dalam tanah.	250-500
X	Pada umumnya semua tembok, rangka rumah, dan fondasi rusak. Beberapa bangunan dari kayu yang kuat dan jembatan-jembatan rusak. Kerusakan berat terjadi pada bendungan-bendungan, tanggul-tanggul dan tambak-tambak. Terjadi tanah longsor yang besar. Air dalam kolam, sungai dan danau tumpah. Terjadi perpindahan tempat secara horisontal di daerah pantai dan di daerah-daerah yang permukaan tanahnya rata. Jalur-jalur kereta api menjadi sedikit bengkok.	500-1000

Tingkat resiko berdasarkan perhitungan nilai Peak Ground Acceleration dikelompokkan menjadi 10 tingkatan pada tabel 2. 4

Tabel 2. 4 Tingkat Resiko Gempabumi (Fauzi dkk dalam Edwiza dan Novita, 2008)

No	Tingkat Resiko	Nilai PGA (gal)
1	Sangat kecil	<25
2	Kecil	2-50
3	Sedang satu	50-75
4	Sedang dua	75-100
5	Sedang tiga	100-125
6	Besar satu	125-150
7	Besar dua	150-200
8	Besar tiga	200-300
9	Sangat besar satu	300-600
10	Sangat besar dua	>600

e. *Ground Shear Strain (GSS)*

Kemampuan material penyusun tanah untuk saling meregang dan bergeser saat terjadi gempa bumi disebut regangan geser tanah (*ground shear-strain*). Regangan geser tanah merupakan derajat distorsi elemen tanah yang umumnya diberi notasi, besarnya regangan ini dapat dinyatakan dalam rasio antara perubahan horisontal dengan tinggi sample/elemen (Widodo, 2012).

Menurut Nakamura (2000) tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan perlu

mempertimbangkan nilai regangan horisontal tanah. Nilai regangan horisontal tanah dapat diperoleh dengan mengalikan antara indeks kerentanan seismik (K_g) dengan percepatan di batuan dasar (α_g).

Persamaan nilai *Ground Shear Strain* (γ) sebagai berikut:

$$\gamma = \frac{A_0 d}{H} \quad (2.14)$$

Dengan:

A_0 adalah faktor amplifikasi

H adalah ketebalan lapisan tanah

d adalah pergeseran gelombang seismik

Persamaan kecepatan gelombang di bawah permukaan tanah (V_b) sebagai berikut:

$$V_b = 4A_0 H f_0 \quad (2.15)$$

Sehingga ketebalan lapisan diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$H = \frac{V_b}{4A_0 f_0} \quad (2.16)$$

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

dengan $V_s = V_b/A_0$

Nilai percepatan α_g di bawah permukaan tanah dinyatakan sebagai berikut:

$$\alpha_g = (2\pi f_0)^2 d \quad (2.18)$$

sehingga perpindahan seismik dari bawah permukaan tanah dapat ditentukan menggunakan persamaan:

$$d = \frac{a_g}{(2\pi f_0)^2} \quad (2.19)$$

maka diperoleh:

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{A_0 d}{H} \\ \gamma &= \frac{\left(A_0 \frac{a_g}{(2\pi f_0)^2} \right)}{\frac{V_s}{4f_0}} \\ \gamma &= \frac{A_0 a_g f_0}{(\pi f_0)^2 V_s} \\ \gamma &= \frac{A_0 a_g}{\pi^2 f_0 V_s} \\ \gamma &= \frac{A_0 a_g}{\pi^2 f_0 \frac{V_b}{A_0}} \\ \gamma &= \frac{A_0^2}{f_0} \frac{1}{\pi^2 V_b} a_g \\ \gamma &= K_g C_g a_g \quad (2.20) \end{aligned}$$

Besarnya nilai C_g konstan di setiap permukaan tanah, dan K_g adalah nilai indeks kerentanan dari suatu permukaan tanah.

Nakamura mengasumsikan kecepatan gelombang geser di batuan dasar adalah 600 m/s, maka $1/(\pi^2 V_b) = 1.69 \times 10^{-6}$ (s/m). Kemudian dengan mengasumsikan bahwa *ground shear strain* efektif adalah 60% dari

ground *shear strain maksimum*. Maka *shear strain* efektif menjadi:

$$\gamma = \left(\frac{A_0^2}{f_0}\right) \times \left(\frac{a_g}{\pi^2 V_b}\right) \times 60\%$$
$$\gamma = K_g(10^{-6}) \times a_g \quad (2.21)$$

γ adalah *ground shear-strain*, K_g adalah indeks kerentanan seismik, 10^{-6} ditetapkan untuk mengestimasi nilai strain pada satuan 10^{-6} pada lapisan tanah permukaan, dan a_g adalah percepatan tanah maksimum di batuan dasar, gal.

Tabel 2. 5 menunjukkan hubungan GSS terhadap fenomena yang diakibatkan. Dari data tersebut diketahui bahwa saat GSS bernilai 1000×10^{-6} , tanah mulai menunjukkan karakter yang tidak linier dan saat GSS bernilai lebih dari 10.000×10^{-6} , tanah akan mengalami deformasi dan keruntuhan (Nakamura, 1997).

Tabel 2. 5 Hubungan antara nilai regangan dengan sifat dinamis tanah (Nakamura, 1997)

Nilai regangan (γ)	10^{-6} 10^{-5}	10^{-4} 10^{-3}	10^{-2} 10^{-1}
Fenomena	Gelombang, Getaran	Retak, Penurunan tanah	Longsor, Penurunan tanah, Likuifikasi
Sifat dinamis	Elastis	Plastik elastis	Keruntuhan
			Efek ulangan, Efek kelajuan dari penurunan

C. Hipotesis

1. Nilai Ground Shear Strain (GSS) di Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta diperkirakan $5,9 \times 10^{-6}$ sampai $2,3 \times 10^{-3}$.
2. Tingkat potensi kerawanan terhadap gempa bumi di Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta adalah fenomena getaran, retak dan penurunan tanah.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Desain dan Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif menggunakan data yang diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Yogyakarta. Data yang diperoleh berupa data mikrotremor Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta berformat msd yang dapat diolah sehingga dapat menggambarkan kondisi geologi daerah penelitian. Dimana peneliti bermaksud untuk membuat deskripsi dan gambaran pada suatu wilayah secara sistematis dan akurat berdasarkan fenomena yang berhubungan dengan objek yang diteliti. Peneliti ingin mengetahui nilai GSS di Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta menggunakan metode HVSR dengan metode kanai.

B. Tempat dan Waktu Penelitian

1. Tempat Penelitian

a. Geologi Regional

Kabupaten Bantul secara geografis terletak di bagian Selatan wilayah DIY dengan $07^{\circ}44'04''$ - $08^{\circ}00'27''$ Lintang Selatan dan $110^{\circ}31'08''$ Bujur Timur. Kabupaten Bantul terdiri dari 17 kecamatan, 75 desa dan 933 pedukuhan dengan

luas secara keseluruhan yaitu 514.493.049 m^2 . Kabupaten Bantul terdiri dari daerah dataran, daerah perbukitan serta dataran pantai. Kondisi bentang alam ini relatif membujur dari utara ke selatan. Secara administratif Kabupaten Bantul mempunyai batas sebagai berikut:

- Sebelah Utara :Kabupaten Sleman dan Kota Yogyakarta
- Sebelah Timur :Kabupaten Gunungkidul
- Sebelah Selatan : Samudra Hindia
- Sebelah Barat :Kabupaten Kulon Progo

Kecamatan Kasihan terletak di sebelah Utara dari Kabupaten Bantul, memiliki luas wilayah sekitar 3.238 Ha yang terdiri dari 4 Desa Adiminstratif diantaranya Desa Ngestiharjo, Desa Tirtonirmolo, Desa Tamantirto dan Desa Bangunjiwo. Wilayah Kecamatan Kasihan Bagian Utara berbatasan dengan kecamatan ngampilan, Bagian Selatan berbatasan dengan Kecamatan Sewon dan Pajangan, Bagian Timur berbatasan dengan Kecamatan Sewon, dan Bagian Barat berbatasan dengan Kecamatan Pajangan.

Secara topografi Kecamatan Kasihan berada di dataran rendah dan perbukitan. Desa Tamantirto, Ngestiharjo, Tirtonirmolo

merupakan daerah dengan dataran rendah, sedangkan Bangunjiwo merupakan daerah perbukitan, meskipun ada sebagian pedukuhan di Bangunjiwo yang berada di dataran. Kecamatan Kasihan berada pada ketinggian 70 mdpl (BPS Kecamatan Kasihan, 2016).



Gambar 3. 1 Lokasi dan Titik Penelitian (Google Earth, 2020)

b. Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Geofisika Fakultas Sains dan Teknologi Univeraitas Islam Negeri Walisongo Semarang.

2. Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada tanggal 30 September - 5 November 2020.

C. Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah f_0 , A_0 dan titik lokasi pengambilan data.

2. Variabel Terikat

Variable terikat pada penelitian ini adalah T_0 dan γ .

D. Alat dan Bahan Penelitian

1. Alat Penelitian

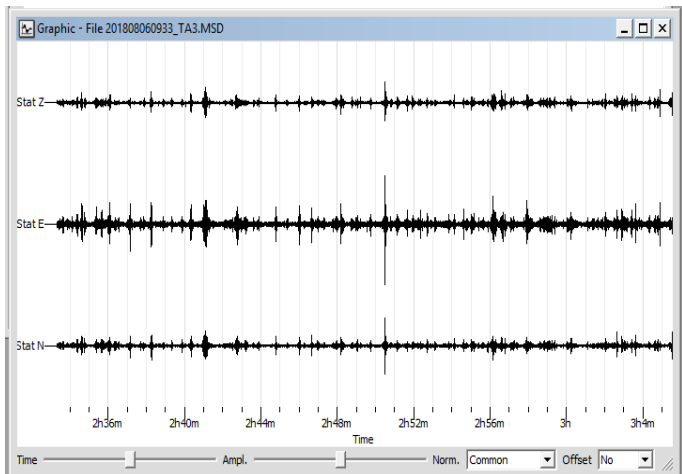
Alat yang digunakan dalam pengolahan data adalah sebagai berikut:

- a. *Software Google Earth* untuk menentukan titik lokasi penelitian dan mengetahui gambaran daerah penelitian.
- b. *Software Geopsy 3.3.1* untuk pengolahan data mikrotremor menggunakan metode HVSR.
- c. *Software Microsoft Excel 2016* untuk media perhitungan data.
- d. *Software Qgis 3.10.5* untuk membuat peta.

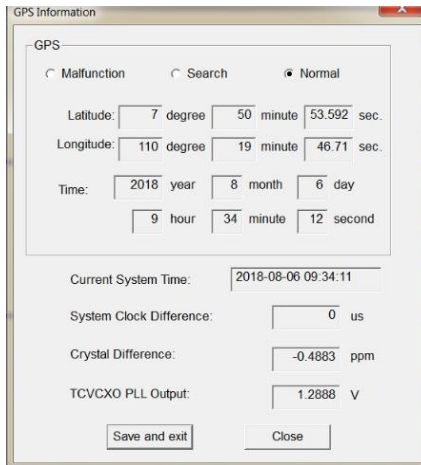
- e. Laptop Lenovo gdmtpkc untuk analisis dan akuisisi data mikrotremor.

2. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam pengolahan data mikroseismik berupa data sekunder milik Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Yogyakarta berupa data mikroseismik sebanyak 30 titik di Kecamatan Kasihan Bantul. Data mikroseismik berupa sinyal mikroseismik dan letak koordinat x dan y dengan format msd.



Gambar 3. 2 Sinyal mikroseismik titik 3

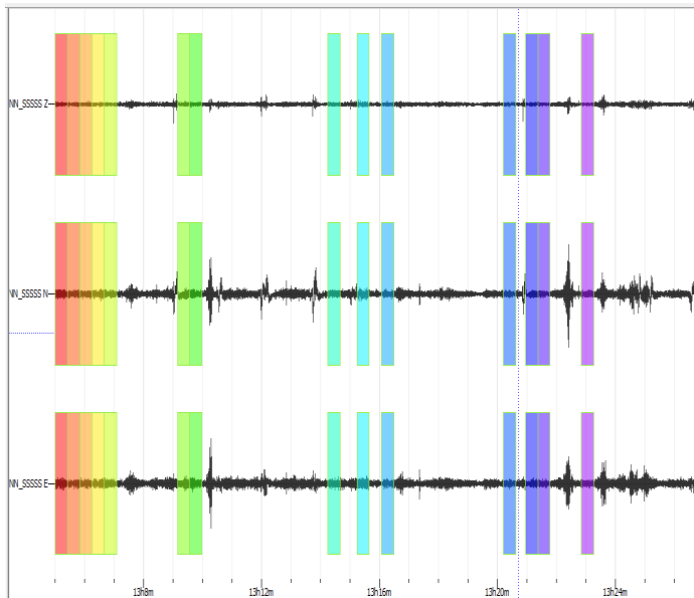


Gambar 3. 3 Koordinat titik 3

E. Metode Analisis Data

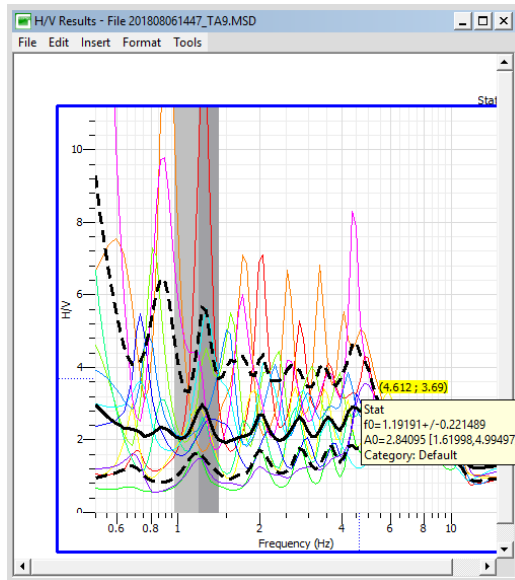
Data hasil pengukuran mikrotremor berupa data dengan format msd yang dapat diinput pada notepad untuk pembuatan *header*. Data mikrotremor terdapat 2 komponen sinyal yaitu komponen vertikal dan horizontal. Data mikrotremor kemudian diolah menggunakan *software Sessary Geopsy* kemudian dianalisis menggunakan metode HVSr. Agar mendapatkan sinyal tanpa noise diperlukan proses *windowing* dan *cutting*. *Quality control* dengan standar SESAME 2004 sangat diperlukan untuk memperoleh hasil kurva HVSr yang reliable.

Kurva H/V terdapat variasi warna spektrum, ini berkaitan dengan hasil pemilihan saat melakukan *windowing*. *Windowing* adalah proses memilih data yang stasioner saat proses filter. Proses ini dilakukan untuk memfilter data rekaman agar terhindar dari *noise*. Warna merah, biru tua, biru muda, hijau dan kuning masing-masing menandakan sinyal dalam domain waktu saat proses *windowing* yang diubah menjadi domain frekuensi. Seperti gambar 3.4.



Gambar 3. 4. Proses Windowing

Gambar 3. 4 terdapat tiga komponen berwarna hitam merupakan sinyal perekaman yang terdiri dari Stat-E menunjukkan komponen horizontal Barat-Timur. Stat-N menunjukkan komponen horizontal Utara-Selatan dan Stat-Z menunjukkan komponen vertikal. Sumbu horizontal menyatakan besaran waktu, sedangkan sumbu vertical menyatakan besaran amplitude. Setelah proses windowing akan muncul kurva H/V. Tampilan kurva H/V terdapat garis hitam menunjukkan rata-rata nilai HVSR, sedangkan garis hitam putus-putus menunjukkan standar deviasi atas dan bawah. Gambar 3. 5 merupakan contoh tampilan kurva H/V.



Gambar 3. 5 Kurva HVSR titik 9

Nilai K_g dan nilai PGA menjadi parameter utama dalam menentukan besarnya nilai GSS. Nilai f_0 dan A_0 yang diperoleh dari kurva HVSR digunakan untuk menghitung nilai kerentanan seismik (K_g). Dengan menggunakan rumus persamaan $K_g = \frac{A_0^2}{f_0}$. Sedangkan nilai PGA diperoleh dengan cara memasukkan parameter gempa berupa magnitudo (M), periode dominan (T_0), lintang-bujur dan jarak hiposenter (R). Rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$a_{max} = \frac{5}{\sqrt{T_0}} 10^{\left(0,61M - \left(1,66 + \frac{3,6}{R}\right) \log R + \left(0,167 - \frac{1,83}{R}\right)\right)} \quad (2.13)$$

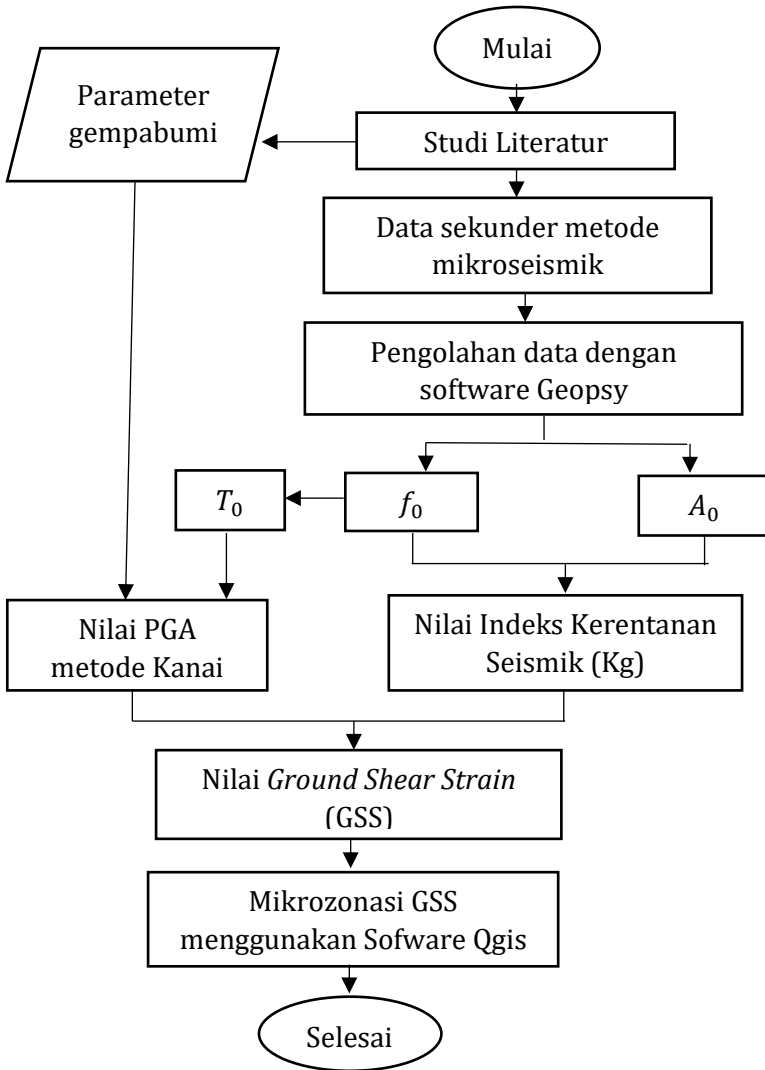
Mikrozonasi nilai GSS (γ) dilakukan setelah mendapatkan nilai K_g dan PGA. Rumus persamaan GSS:

$$\gamma = K_g \times a_g \times 10^{-6} \quad (2.21)$$

kemudian membuat pemodelan surface menggunakan *Software Qgis 3.10.5*.

Nilai GSS yang didapatkan kemudian dianalisis berdasarkan Tabel 2. 3 yang digunakan untuk menganalisis struktur bawah permukaan di Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta dan untuk mikrozonasi daerah yang berpotensi terjadi rawan gempa bumi.

F. DIAGRAM ALIR PENELITIAN



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

1. Data sekunder USGS

Data sekunder USGS yang digunakan untuk menghitung nilai PGA di Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta adalah gempa yang terjadi pada tanggal 27 Mei 2006 di Yogyakarta dengan jarak hiposenter (R)=17,1 Km dan Magnitude (M)= 5,9 SR.

2. Data Sekunder BMKG

Data sekunder yang digunakan untuk mencari nilai *Ground Shear Strain* di Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta ditunjukkan pada tabel 4. 1

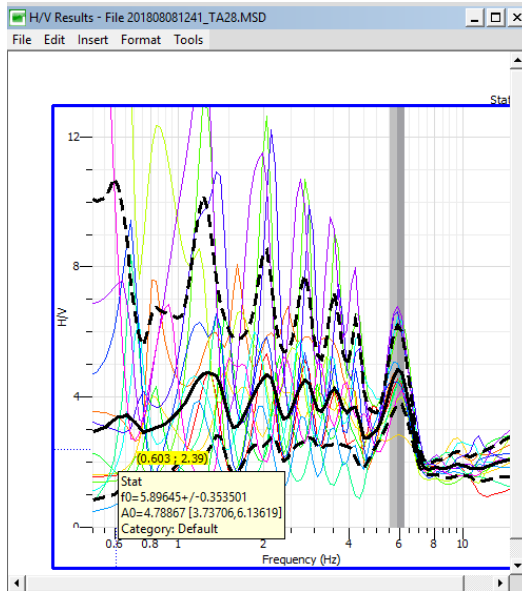
Tabel 4.1 Tabel Data Mikrotremor Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta:

Titik	Koordinat		f_0	A_0	T_0
	X	Y			
3	-7.8482	110.3296	4.355	4.291	0.230
4	-7.8477	110.3107	4.537	3.993	0.220
5	-7.8489	110.3101	0.901	2.134	1.110
6	-7.8398	110.2933	4.518	2.637	0.221
7	-7.8392	110.3021	1.147	5.944	0.872
8	-7.8392	110.3020	1.448	3.822	0.691
9	-7.8396	110.3203	4.211	2.752	0.237
10	-7.8397	110.3293	0.889	3.564	1.125
11	-7.8389	110.3388	7.921	7.083	0.126
14	-7.8299	110.3481	10.711	2.217	0.093
15	-7.8308	110.3380	1.092	6.765	0.916
16	-7.8310	110.3297	10.905	4.711	0.092
17	-7.8298	110.3199	0.826	4.816	1.210
18	-7.8304	110.3107	1.829	5.037	0.547
19	-7.8304	110.3020	0.814	3.382	1.229
20	-7.8220	110.3204	1.251	5.069	0.799
22	-7.8123	110.3205	10.555	2.887	0.095
23	-7.8035	110.3205	10.112	4.623	0.099
24	-7.8035	110.3303	1.525	3.493	0.656
25	-7.8123	110.3302	0.761	4.821	1.314
26	-7.8210	110.3300	0.870	2.304	1.150
27	-7.8298	110.3199	0.931	4.923	1.074
28	-7.8212	110.3479	5.896	4.789	0.170
29	-7.8126	110.3479	1.508	4.627	0.663
30	-7.8124	110.3383	10.426	2.796	0.096
31	-7.8031	110.3393	1.221	2.763	0.819
34	-7.7943	110.3469	11.278	4.314	0.089
35	-7.7946	110.3416	1.288	5.185	0.776
36	-7.7860	110.3478	1.301	3.885	0.769
38	-7.7762	110.3480	4.819	2.474	0.208

B. Analisis Data

Data penelitian diperoleh dari BMKG Yogyakarta berupa data mikrotremor Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta berformat msd sebanyak 30 titik dengan jarak 1 km setiap titiknya. Hasil pengolahan data memiliki banyak noise sehingga diperlukan metode *horizontal to vertical* (H/V) untuk memfilternya.

Nilai f_0 dan A_0 merupakan parameter penting dalam metode HVSR. Menurut Nakamura (2008) tinggi puncak spektrum pada kurva HVSR dapat digunakan untuk mengetahui nilai amplifikasi suatu titik. Nilai frekuensi dominan dihasilkan dari jumlah puncak gelombang yang dilewati per satuan waktu. Hasil pengolahan metode HVSR ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Kurva H/V titik 28

Kurva H/V di titik 28 didapatkan nilai frekuensi dominan sebesar 5,89645 Hz dan nilai amplifikasi sebesar 4,78867. Besarnya nilai f_0 dan A_0 kemudian digunakan untuk mencari nilai *Ground Shear Strain* (GSS) dengan terlebih dahulu mencari nilai Kg dan PGA.

Parameter yang diperlukan dalam perhitungan nilai indeks kerentanan seismik berupa nilai frekuensi dominan dan amplifikasi. Perhitungan nilai indeks kerentanan seismik titik 28 menggunakan rumus sebagai berikut:

$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (2.12)$$

$$K_g = \frac{4.78867^2}{5.89645}$$

$$K_g = 3.889$$

Perhitungan selanjutnya adalah menentukan nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA). Parameter yang dibutuhkan dalam menghitung nilai *Peak Ground Acceleration* yaitu magnitudo (M), periode dominan (T_0) dan jarak hiposenter (R). Perhitungan nilai PGA titik 28 dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$a_{max} = \frac{5}{\sqrt{T_0}} 10^{\left(0,61M - \left(1,66 + \frac{3,6}{R}\right) \log R + \left(0,167 - \frac{1,83}{R}\right)\right)} \quad (2.13)$$

$$a_{max} = \frac{5}{\sqrt{0.170}} 10^{\left(0,61(5,9) - \left(1,66 + \frac{3,6}{17,1}\right) \log (17,1) + \left(0,167 - \frac{1,83}{(17,1)}\right)\right)}$$

$$a_{max} = 416.77$$

Sedangkan nilai periode dominan dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

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

$$T_0 = \frac{1}{5.896}$$

$$T_0 = 0.170 \text{ s}$$

Nilai indeks kerentanan seismik dan percepatan tanah maksimum diperlukan dalam perhitungan nilai

Ground Shear Strain (GSS). Nilai *Ground Shear Strain (GSS)* titik 28 dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\gamma = K_g(10^{-6}) \times a_{max} \quad (2.21)$$

$$\gamma = 3.889 (10^{-6}) \times 416.77$$

$$\gamma = 1.62 \times 10^{-3}$$

Mikrozonasi dapat dilakukan setelah mendapatkan nilai *Ground Shear Strain (GSS)*. Tabel hubungan antara regangan dengan sifat dinamis tanah dapat digunakan untuk mengetahui fenomena yang terjadi. Berikut nilai indeks kerentanan seismik (K_g), *Peak Ground Acceleration (PGA)* dan *Ground Shear Strain (GSS)* di kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta.

Table 4. 2 Nilai GSS Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta

Data	Koordinat		Kg	PGA	GSS
	X	Y			
3	-7.8482	110.3296	4.229	358.16	1.51×10^{-3}
4	-7.8477	110.3107	3.515	365.56	1.28×10^{-3}
5	-7.8489	110.3101	5.054	162.92	8.23×10^{-4}
6	-7.8398	110.2933	1.539	364.82	5.61×10^{-4}
7	-7.8392	110.3021	30.810	183.80	5.66×10^{-3}
8	-7.8392	110.3020	10.092	206.51	2.08×10^{-3}
9	-7.8396	110.3203	1.798	352.21	6.33×10^{-4}
10	-7.8397	110.3293	14.296	161.78	2.31×10^{-3}
11	-7.8389	110.3388	6.334	483.05	3.06×10^{-3}
14	-7.8299	110.3481	0.459	561.71	2.58×10^{-4}
15	-7.8308	110.3380	41.908	179.34	7.52×10^{-3}
16	-7.8310	110.3297	2.035	566.79	1.15×10^{-3}
17	-7.8298	110.3199	28.075	156.01	4.38×10^{-3}
18	-7.8304	110.3107	13.871	232.12	3.22×10^{-3}
19	-7.8304	110.3020	14.051	154.83	2.17×10^{-3}
20	-7.8220	110.3204	20.539	191.97	3.94×10^{-3}
22	-7.8123	110.3205	0.790	557.61	4.40×10^{-4}
23	-7.8035	110.3205	2.114	545.78	1.15×10^{-3}
24	-7.8035	110.3303	8.001	211.95	1.69×10^{-3}
25	-7.8123	110.3302	30.530	149.76	4.57×10^{-3}
26	-7.8210	110.3300	6.101	160.06	9.76×10^{-4}
27	-7.8298	110.3199	26.022	165.64	4.31×10^{-3}
28	-7.8212	110.3479	3.889	416.77	1.62×10^{-3}
29	-7.8126	110.3479	14.201	210.75	2.99×10^{-3}
30	-7.8124	110.3383	0.750	554.18	4.15×10^{-4}
31	-7.8031	110.3393	6.253	189.63	1.18×10^{-3}
34	-7.7943	110.3469	1.650	576.38	9.51×10^{-4}
35	-7.7946	110.3416	20.871	194.82	4.06×10^{-3}
36	-7.7860	110.3478	11.603	195.75	2.27×10^{-3}
38	-7.7762	110.3480	1.270	376.75	4.78×10^{-4}

A. Pembahasan

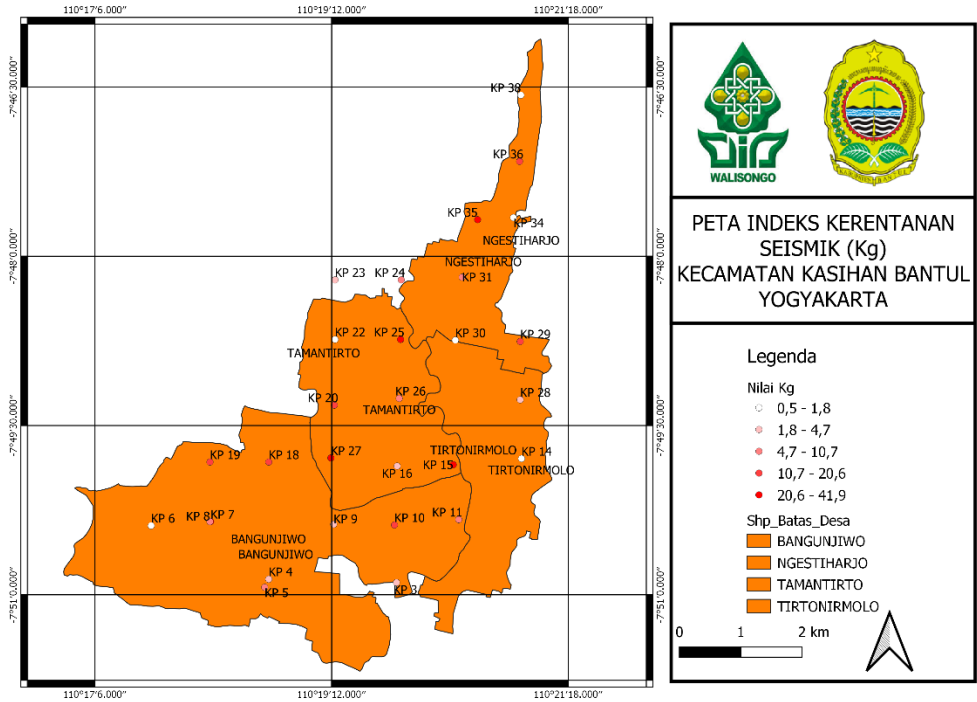
1. Indeks Kerentanan Seismik

Indeks kerentanan seismik (K_g) adalah nilai yang menggambarkan tingkat kerawanan lapisan tanah saat terjadi gempa bumi. Nilai indeks kerentanan seismik digunakan untuk mengetahui wilayah yang rawan terhadap pergerakan tanah. Pengukuran K_g diperoleh dari hubungan antara frekuensi dominan dan amplifikasi akibat pengaruh gempa bumi.

Nilai f_0 dan A_0 menjadi parameter penting dalam perhitungan nilai indeks kerentanan seismik. Nilai Indeks kerentanan seismik akan semakin kecil jika nilai frekuensi besar. Sedangkan nilai indeks kerentanan akan bernilai besar jika nilai amplifikasinya kecil. Kestabilan struktur tanah dapat dilihat melalui indeks kerentanan seismik. Kerusakan akibat gempa bumi akan semakin besar apabila kestabilan tanah kecil dan indeks kerentanan seismik besar.

Dalam pengolahan data indeks kerentanan seismik dilakukan dengan analisis spektrum H/V. Berdasarkan hasil pengolahan data nilai K_g di kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta berkisar

antara 0,459 - 41,908 cm^2/s . Nilai indeks kerentanan seismik paling tinggi terjadi pada titik 15 sebesar 41.908 cm^2/s di Desa Tirtonirmolo, sedangkan nilai indeks kerentanan seismik terendah pada titik 14 sebesar 0.459 cm^2/s . Berikut gambar 4. 2 hasil pengolahan nilai indeks kerentanan seismik:



Gambar 4. 2 Peta Kontur Indeks Kerentanan Seismik

Peta kontur indeks kerentanan seismik dapat dilihat pada Gambar 4. 2. Warna merah menandakan bahwa di titik tersebut merupakan daerah yang memiliki nilai kerentanan tinggi dan berbahaya sehingga apabila terjadi gempa bumi kemungkinan daerah tersebut mengalami kerusakan. Warna putih menandakan bahwa daerah tersebut tidak beresiko karena nilai indeks kerentanannya kecil.

Nilai indeks kerentanan seismik dapat digunakan untuk mengidentifikasi suatu daerah yang rentan terhadap gelombang seismik. Nilai kerentanan daerah akan tinggi pada nilai K_g tinggi. Nilai K_g dapat dijadikan sebagai indikator untuk memilih titik lemah tanah. Berdasarkan peta indeks kerentanan seismik pada Gambar 4. 2 daerah yang memiliki indeks kerentanan tanah paling tinggi berada pada titik 15 di desa Tirtonirmolo, dimana daerah tersebut jika terjadi gempa bumi akan mengalami kerusakan yang cukup parah.

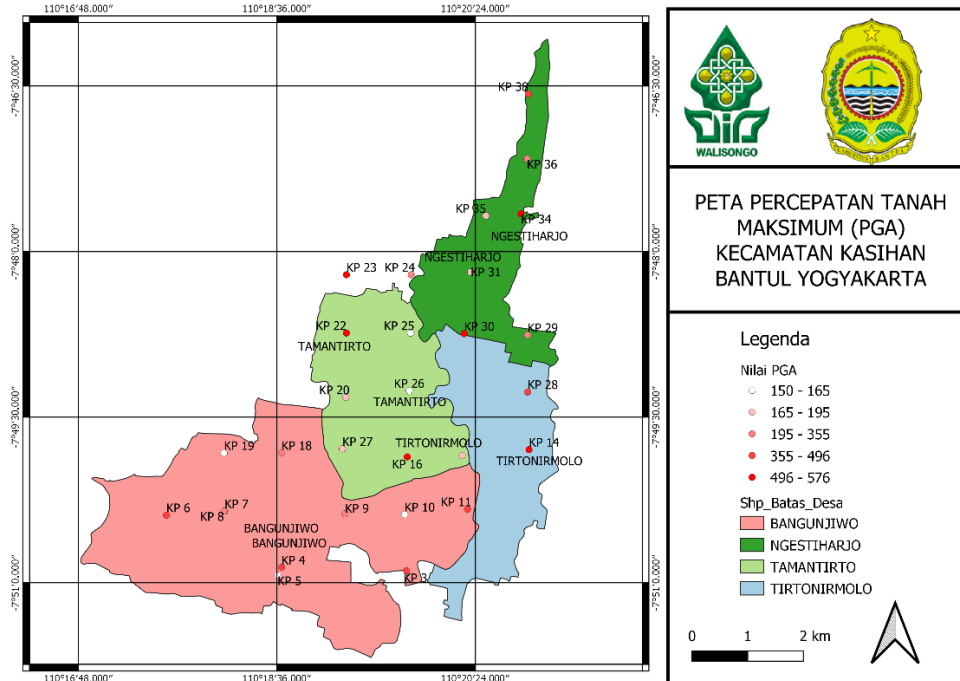
Hasil pengelompokan per desa di Kecamatan Kasihan Bantul berdasarkan nilai indeks kerentanan seismik didapatkan bahwa desa Tirtonirmolo merupakan kategori tinggi, desa Bangunjiwo kategori sedang, desa Ngastiharjo

kategori rendah dan desa Tamantirto kategori sangat rendah saat terjadi gempabumi.

2. *Peak Ground Acceleration (PGA)*

Peak Ground Acceleration atau percepatan tanah maksimum merupakan nilai percepatan getaran tanah terbesar yang pernah terjadi akibat dari gempabumi. Penyebab percepatan tanah maksimum adalah arah rambat gelombang seismik dan karakteristik lapisan tanah (Kanai & Tanaka, 1961).

Parameter yang diperlukan untuk mengetahui nilai percepatan tanah maksimum adalah magnitude, periode dominan dan hiposenter gempabumi. Data gempabumi yang digunakan adalah gempa Yogyakarta tahun 2006 diperoleh dari USGS. Sumber gempabumi ini dijadikan sebagai data untuk menentukan nilai PGA di kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta. Perhitungan nilai PGA di kecamatan Kasihan Bantul berkisar antara 149,76 sampai 578,03 gal yang ditunjukkan dengan Gambar 4. 3.



Gambar 4. 3 Peta Percepatan Tanah Maksimum

Gambar 4. 3 merupakan gambaran peta PGA di Kecamatan Kasihan. Nilai PGA tertinggi ditandai warna merah berada di titik 34 sebesar 576,38 gal di desa Ngastiharjo dan PGA terendah ditandai warna putih berada pada titik 25 sebesar 149,75 gal di desa Tamantirto.

Hasil dari perhitungan nilai *Peak Ground Acceleration* di Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta berdasarkan klasifikasi kesesuaian tabel 2. 3 menunjukkan bahwa tingkat bahaya yang ditimbulkan apabila terjadi gempabumi yaitu setara dengan VIII, IX dan X skala MMI.

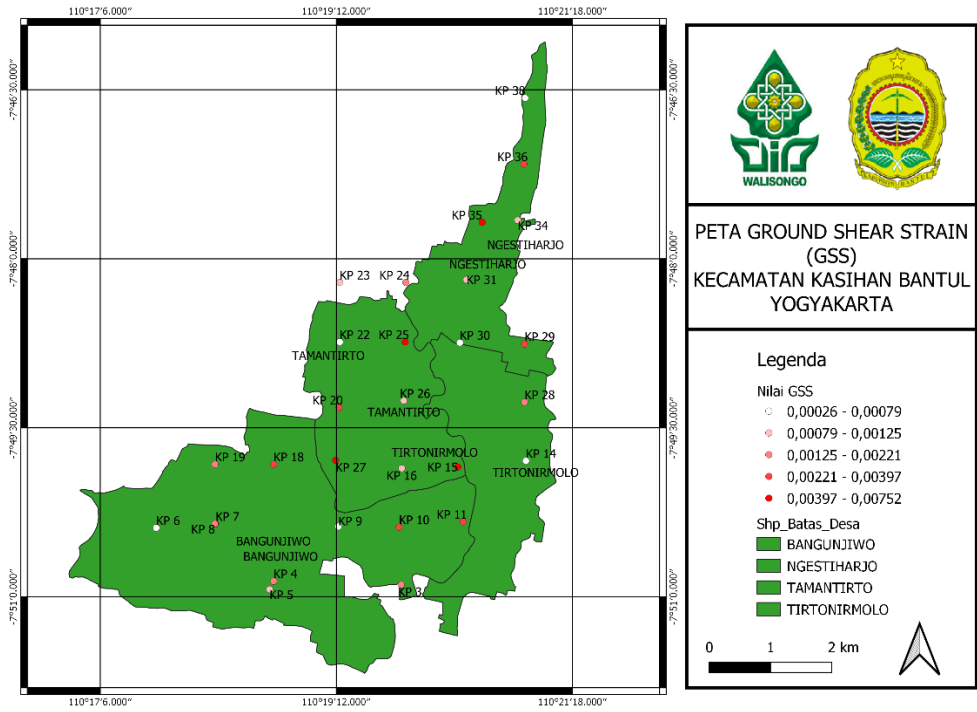
Hasil pengelompokan per desa di Kecamatan Kasihan berdasarkan nilai PGA didapatkan bahwa desa Bangunjiwo merupakan kategori tinggi, desa Ngastiharjo merupakan kategori sedang, desa Tamantirto kategori rendah dan desa Tirtonirmolo kategori sangat rendah sehingga apabila terjadi gempabumi kerusakan yang diakibatkan sangat sedikit.

3. *Ground Shear Strain (GSS)*

Ground Shear Strain merupakan kemampuan tanah untuk menggeser atau meregang saat terjadi gempabumi. Faktor penyebab terjadinya kerusakan tanah akibat gempabumi salah satunya adalah GSS.

Parameter yang mempengaruhi terjadinya *Ground Shear Strain* adalah percepatan tanah maksimum (PGA) dan indeks kerentanan tanah (Kg). Besarnya PGA dipengaruhi oleh periode dominan, magnitudo dan hiposenter. Sedangkan Kg dipengaruhi oleh amplifikasi dan frekuensi dominan. Dimana PGA dan Kg saling berkaitan karena besarnya nilai periode dominan berbanding terbalik dengan frekuensi dominan. Semakin besar nilai GSS yang dihasilkan maka semakin besar kerusakan yang terjadi. Besarnya nilai GSS berbanding lurus dengan nilai percepatan tanah dan indeks kerentanan seismik.

Hubungan sifat dinamis tanah terhadap nilai GSS dapat dilihat pada gambar 2. 5. Nilai GSS saat $10^{-6} - 10^{-5}$ fenomena yang terjadi saat gempa bumi berupa getaran. Sedangkan nilai GSS saat $10^{-4} - 10^{-3}$ fenomena yang terjadi saat gempa bumi berupa penurunan tanah dan retakan tanah. Sedangkan saat nilai GSS sebesar $10^{-2} - 10^{-1}$ fenomena yang terjadi berupa likuifikasi, penurunan tanah dan longsor. Peta nilai GSS kecamatan kasihan dapat dilihat pada gambar 4. 4.



Gambar 4. 4 Peta *Ground Shear Strain*

Berdasarkan klasifikasi fenomena nilai GSS di kecamatan Kasihan Bantul masih kategori rendah yaitu 10^{-4} , sehingga tidak menyebabkan likuifikasi saat terjadi gempa bumi. Nilai *Ground Shear Strain* terendah berada di titik 14 sebesar $2,58 \times 10^{-4}$ di desa Tirtonirmolo dengan fenomena yang terjadi berupa keretakan, getaran dan penurunan tanah. Nilai GSS tertinggi berada di titik 15 sebesar $7,52 \times 10^{-3}$ di desa Tirtonirmolo bagian tepi dengan fenomena keretakan tanah dan penurunan tanah. Penyebab titik 15 tinggi dipengaruhi oleh besarnya nilai K_g sebesar $41,908 \text{ cm}^2/\text{s}$ dan nilai PGA sebesar $175,34 \text{ gal}$. Sehingga nilai GSS yang dihasilkan tinggi dan dapat menyebabkan kerusakan yang serius saat terjadi gempa bumi.

Berdasarkan pengelompokan per desa di kecamatan Kasihan menurut nilai GSS. Desa Ngastiharjo merupakan desa yang sangat rendah mengalami kerusakan, sedangkan desa Tamantiro kategori rendah. Desa Bangunjiwo kategori sedang dan desa Tirtonirmolo kategori tinggi dan merupakan daerah yang sangat rawan apabila terjadi gempa bumi.

Berdasarkan faktor geologi, sebagian besar kecamatan Kasihan didominasi oleh Batuan Merapi muda. Daerah penelitian berada pada formasi Sentolo dan formasi Merapi Muda. Formasi Sentolo tersusun atas batu gamping dan batu pasir napalan sedangkan formasi Merapi Muda tersusun oleh material alluvial.

4. Relevansi nilai *Ground Shear Strain* (GSS), nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) dan Kerentanan seismik (*Kg*) dengan Al -Qur'an QS. Al-Waqi'ah ayat4 -6.

Banyak ayat Al-Qur'an yang membahas mengenai gempabumi. Al-Qur'an telah menjelaskan secara rinci mengenai terjadinya gempabumi, seperti yang ditunjukkan pada QS. Al-Waqi'ah ayat 4-6. Pendapat M. Quraish Shihab berdasarkan Tafsir al-Manatakhab bahwa bumi yang manusia tempati merupakan lapisan batu-batu yang bertumpuk-tumpuk dan tidak seimbang, sehingga membentuk rongga-rongga. Bahkan rongga ini menjadi pusat terjadinya gempa berskala besar yang memiliki daya tarik-menarik yang sangat kuat yang terjadi saat lapisan-lapisan itu terbelah. Apabila kekuatan ini tidak seimbang akan terjadi hentakan yang

sangat kuat dan mengakibatkan guncangan bumi atau bisa disebut gempabumi.

Setiap daerah memiliki karakteristik yang berbeda-beda seperti ketebalan sedimen. Nilai frekuensi dominan dapat digunakan untuk menganalisis ketebalan sedimen. Apabila frekuensi dominan tinggi maka lapisan sedimennya tipis sedangkan apabila frekuensi dominannya rendah maka lapisan sedimennya tebal. Parameter tentang frekuensi dominan ini dimungkinkan dapat mempengaruhi dampak akibat gempabumi.

Bencana alam dapat terjadi kapan saja, dimana saja. Maka diperlukan kesiapsiagaan dalam menghadapinya. Ancaman nyawa menjadi kekhawatiran yang amat sangat sehingga diperlukan tindakan pencegahan untuk kelangsungan hidup manusia.

Sebagai manusia harus memahami dan mempelajari tanda bencana alam, seperti mengantisipasi adanya resiko yang ditimbulkan. Manusia tidak mampu memprediksi terjadinya gempabumi, sehingga identifikasi mengenai kerentanan tanah, percepatan tanah dan GSS perlu dilakukan untuk mencegah dan memitigasi dampak dari peristiwa gempabumi.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai GSS di Kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta antara $2,58 \times 10^{-4}$ sampai $7,52 \times 10^{-3}$. Nilai GSS tertinggi berada di titik 15 sebesar $7,52 \times 10^{-3}$, sedangkan nilai GSS terendah berada titik 14 sebesar $2,58 \times 10^{-4}$ desa Tirtonirmolo.
2. Tingkat resiko gempabumi di kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta tidak terlalu parah sebesar 10^{-4} sehingga fenomena yang terjadi akibat gempabumi tidak sampai terjadi likuifikasi. Fenomena yang ditimbulkan berupa getaran, penurunan tanah dan retak.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan penulis berdasarkan hasil dan kesimpulan, yaitu:

1. Perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut khususnya mengenai struktur bawah permukaan menggunakan metode yang berbeda.

2. Sebaiknya pengukuran dilakukan di tempat yang terhindar dari aktivitas manusia agar data yang terekam tidak memiliki banyak noise.
3. Perlu adanya sosialisasi kepada masyarakat di daerah kecamatan Kasihan agar sadar akan pentingnya penanggulangan bencana melalui mitigasi bencana

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, S. S. (2019). Analisis Nilai Peak Ground Acceleration dan Intensitas Gempa Menggunakan Metode HVSr di UIN Walisongo Semarang. Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
- Andriyani, G. *et al.* (2011). Kajian Regangan Selat Bali Berdasarkan Data GnsS Kontinu Tahun 2009-2011. pp. 1-12.
- Arai, H. and Tokimatsu, K. (2005). S-Wave Velocity Profiling by Joint Inversion of Microtremor Dispersion Curve and Horizontal-to-Vertical (H / V) Spectrum. 95(5), pp. 1766-1778. doi: 10.1785/0120040243.
- Arifin, S. S. *et al.* (2013). Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSr Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya. *Geofisika Eksplorasi*, 2(1).
- Braile, L. W. 2006. *Seismic Wave and Slinky*. Indiana Eleanor: Pardue Univercity Chu.
- Daryono, Brotopuspito, K. S. and Sutikno (2018). Hubungan Antara Indeks Kerentanan Seismik dan Rasio Kerusakan pada Satuan Bentuklahan di Zona Graben Bantul Yogyakarta. *proceeding, seminar nasional kebumian 11*, (2007), pp. 1140-1151.
- Dewi, E. R. (2013) Analisis Ground Shear Strain di Wilayah Kecamatan Jetis Kabupaten Bantul Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
- Edwiza, D. and Novita, S. (2008). Pemetaan Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Seismik Kota Padang Panjang Menggunakan Metode Kanai. 2(29), pp. 111-118.

- Edwiza. (2008). Analisis Terhadap Intensitas dan Pecepatan Tanah Maksimum Gempa Sumbar. *Jurnal Geofisika*, Vol. 1, No. 29, hal, 73-76
- Haerudin, N., Alami, F. and Rustadi (2019). Mikroseismik, Mikrotremor Dan Microearthquake dalam Ilmu Kebumihan. Bandar Lampung: Pusaka Media.
- Hochstein, M. P. and Sudarman, S. (2008). History of Geothermal Exploration in Indonesia From 1970 to 2000. *Geothermics*, (June 2008), pp. 200–266. doi: 10.1016/j.geothermics.2008.01.001.
- Kanai, K., 1983. Seismology in Engineering. Tokyo University. Japan.
- Kurniawan, M. (2016). Percepatan Tanah Maksimum dengan Metode (Studi Kasus Data Gempa Bumi Antara Tahun 1990-2015). Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Lachet, C. dan Brad, P.Y., 1994. Numerical and Theoretical Investigations on The Possibilities and Limitations of Nakamura's Technique. *J. Phys. Earth*, 42, 377-397.
- Makmun-abha, M. (2013). Gempa Bumi dalam Al-Qur'an (Tafsir Tematik). *Esensia*, XIV, pp. 1–18.
- Munir. (2006). Geologi Lingkungan. Malang: Bayumedia Publishing.
- Nandi (2006). Gempa Bumi. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Partono, W. (2013). Aplikasi Metode HVSR pada Perhitungan Faktor Amplifikasi Tanah di Kota Semarang. *Ilmu dan terapan bidang teknik sipil*, 19(2), pp. 125–134.
- Purnamawati, I. (2013). Analisis Rawan Kekeringan Lahan Pertanian Tanaman Pangan Dengan Memanfaatkan Citra Quickbird dan Sistem Informasi Geografis Kabupaten Bantul Tahun 2012. Universitas

Muhammadiyah Surakarta.

- Purwanti, A. (2016). Analisis Tingkat Resiko dari Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) Berdasarkan Data Mikroseismik di sekitar Jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul Yogyakarta. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
- Pusgen (2017). Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Edited by M. Irsyam et al. Bandung: Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Rizki, N. elisa (2019). Analisis Ketebalan Lapisan Sedimen dan Kerentanan Gempa di Kampus UIN Walisongo Semarang Menggunakan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR). UIN Walisongo Semarang.
- SESAME (2004). Guidelines for the Implementation of the H / V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurements, Processing and Interpretation Sesame European Research Project', (December), pp. 1–62.
- Setiawati, Y. (2016). Analisis GSS (Ground Shear Strain) dengan Metode HVSR menggunakan Data Mikroseismik Pada Jalur Sesar Opak. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Sudrajat, A. (2017). Analisis Litologi Lapisan Sedimen Berdasarkan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (Hvsr) dan Data Bor Di Kawasan Jalur Sesar Opak. *Universitas Negeri Yogyakarta*.
- Susilanto, P. *et al.* (2016). Penerapan Metode Mikrotremor HVSR untuk Penentuan Respons Dinamika Kegempaan di Kota Padang. *Environment and Geological Hazard*, vol.7 No.(692), pp. 79–88.

Telford. (1990). Telford Geldart Sheriff Applied Geophysics.Pdf. New York: University of Cambrige, p. 744.

Zakiyati, Rizki Laili. (2020). Analisis Kecepatan Gelombang Geser (V_s30) berdasarkan Metode *Ellipcity Curve* di Kecamatan Piyungan Kabupaten Bantul. UIN Walisongo Semarang.

LAMPIRAN

Lampiran 1

Hasil Pengolahan Data Metode HVSR

Titik	Koordinat		f_0	A_0	T_0
	X	Y			
3	-7.8482	110.3296	4.355	4.291	0.230
4	-7.8477	110.3107	4.537	3.993	0.220
5	-7.8489	110.3101	0.901	2.134	1.110
6	-7.8398	110.2933	4.518	2.637	0.221
7	-7.8392	110.3021	1.147	5.944	0.872
8	-7.8392	110.3020	1.448	3.822	0.691
9	-7.8396	110.3203	4.211	2.752	0.237
10	-7.8397	110.3293	0.889	3.564	1.125
11	-7.8389	110.3388	7.921	7.083	0.126
14	-7.8299	110.3481	10.711	2.217	0.093
15	-7.8308	110.3380	1.092	6.765	0.916
16	-7.8310	110.3297	10.905	4.711	0.092
17	-7.8298	110.3199	0.826	4.816	1.210
18	-7.8304	110.3107	1.829	5.037	0.547
19	-7.8304	110.3020	0.814	3.382	1.229
20	-7.8220	110.3204	1.251	5.069	0.799
22	-7.8123	110.3205	10.555	2.887	0.095
23	-7.8035	110.3205	10.112	4.623	0.099
24	-7.8035	110.3303	1.525	3.493	0.656
25	-7.8123	110.3302	0.761	4.821	1.314
26	-7.8210	110.3300	0.870	2.304	1.150
27	-7.8298	110.3199	0.931	4.923	1.074
28	-7.8212	110.3479	5.896	4.789	0.170
29	-7.8126	110.3479	1.508	4.627	0.663
30	-7.8124	110.3383	10.426	2.796	0.096
31	-7.8031	110.3393	1.221	2.763	0.819
34	-7.7943	110.3469	11.278	4.314	0.089
35	-7.7946	110.3416	1.288	5.185	0.776
36	-7.7860	110.3478	1.301	3.885	0.769
38	-7.7762	110.3480	4.819	2.474	0.208

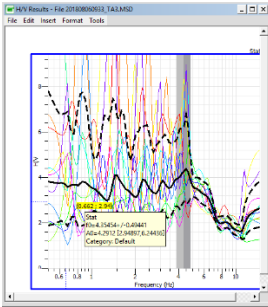
Lampiran 2

Hasil Pengolahan Data GSS

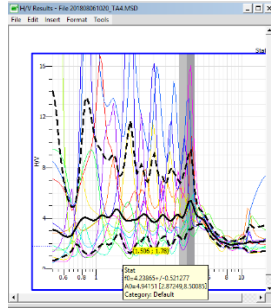
Data	Koordinat		Kg	PGA	GSS
	X	Y			
3	-7.8482	110.3296	4.229	358.16	1.51×10^{-3}
4	-7.8477	110.3107	3.515	365.56	1.28×10^{-3}
5	-7.8489	110.3101	5.054	162.92	8.23×10^{-4}
6	-7.8398	110.2933	1.539	364.82	5.61×10^{-4}
7	-7.8392	110.3021	30.810	183.80	5.66×10^{-3}
8	-7.8392	110.3020	10.092	206.51	2.08×10^{-3}
9	-7.8396	110.3203	1.798	352.21	6.33×10^{-4}
10	-7.8397	110.3293	14.296	161.78	2.31×10^{-3}
11	-7.8389	110.3388	6.334	483.05	3.06×10^{-3}
14	-7.8299	110.3481	0.459	561.71	2.58×10^{-4}
15	-7.8308	110.3380	41.908	179.34	7.52×10^{-3}
16	-7.8310	110.3297	2.035	566.79	1.15×10^{-3}
17	-7.8298	110.3199	28.075	156.01	4.38×10^{-3}
18	-7.8304	110.3107	13.871	232.12	3.22×10^{-3}
19	-7.8304	110.3020	14.051	154.83	2.17×10^{-3}
20	-7.8220	110.3204	20.539	191.97	3.94×10^{-3}
22	-7.8123	110.3205	0.790	557.61	4.40×10^{-4}
23	-7.8035	110.3205	2.114	545.78	1.15×10^{-3}
24	-7.8035	110.3303	8.001	211.95	1.69×10^{-3}
25	-7.8123	110.3302	30.530	149.76	4.57×10^{-3}
26	-7.8210	110.3300	6.101	160.06	9.76×10^{-4}
27	-7.8298	110.3199	26.022	165.64	4.31×10^{-3}
28	-7.8212	110.3479	3.889	416.77	1.62×10^{-3}
29	-7.8126	110.3479	14.201	210.75	2.99×10^{-3}
30	-7.8124	110.3383	0.750	554.18	4.15×10^{-4}
31	-7.8031	110.3393	6.253	189.63	1.18×10^{-3}
34	-7.7943	110.3469	1.650	576.38	9.51×10^{-4}
35	-7.7946	110.3416	20.871	194.82	4.06×10^{-3}
36	-7.7860	110.3478	11.603	195.75	2.27×10^{-3}
38	-7.7762	110.3480	1.270	376.75	4.78×10^{-4}

Lampiran 3

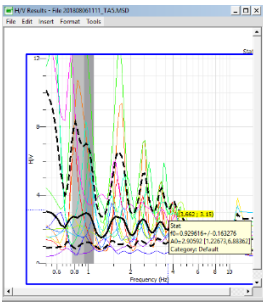
Kurva H/V kecamatan Kasihan Bantul Yogyakarta



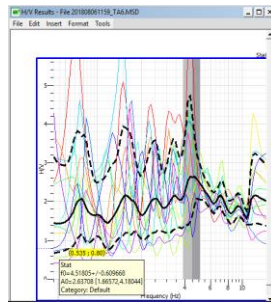
Titik 3



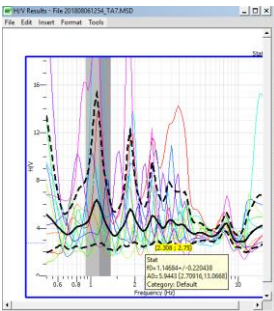
Titik 4



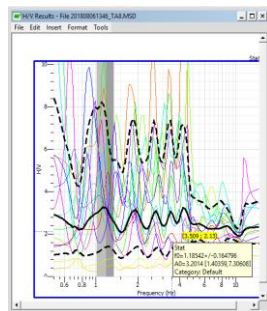
Titik 5



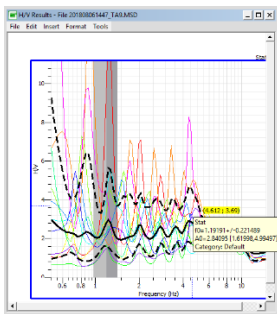
Titik 6



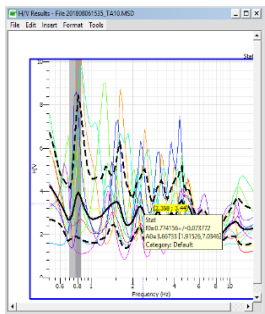
Titik 7



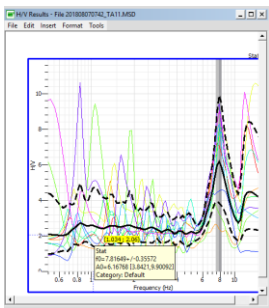
Titik 8



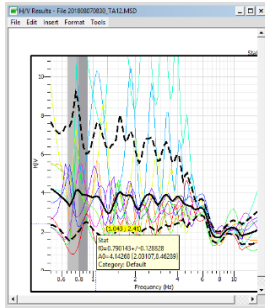
Titik 9



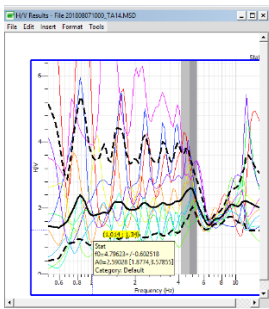
Titik 10



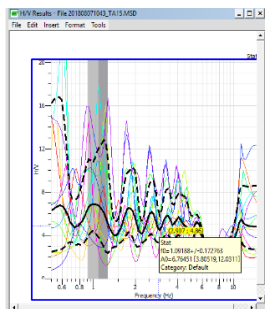
Titik 11



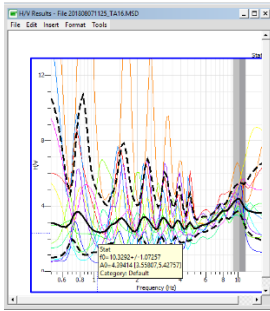
Titik 12



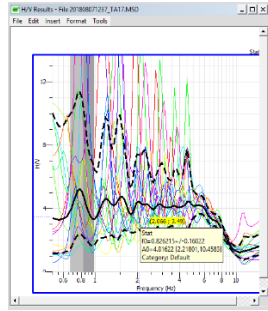
Titik 14



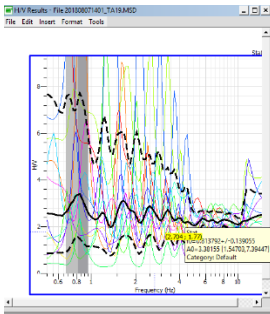
Titik 15



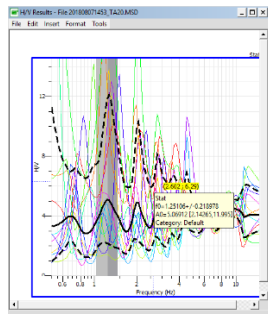
Titik 16



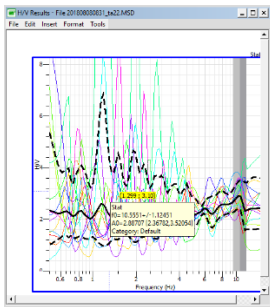
Titik 17



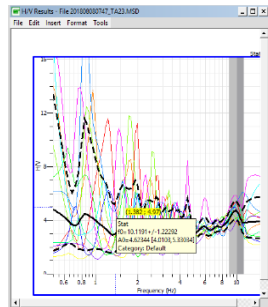
Titik 19



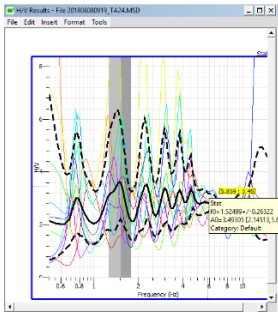
Titik 20



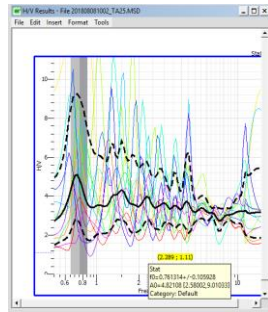
Titik 22



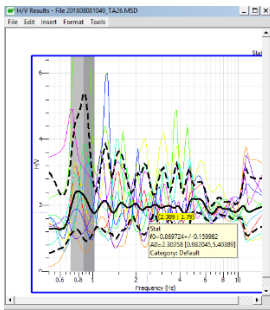
Titik 23



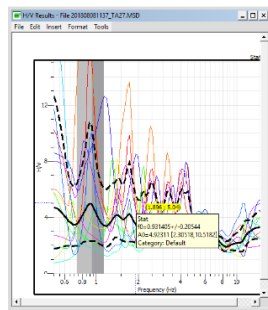
Titik 24



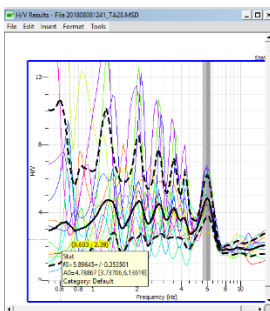
Titik 25



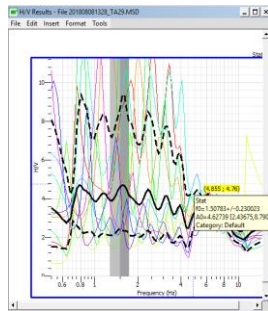
Titik 26



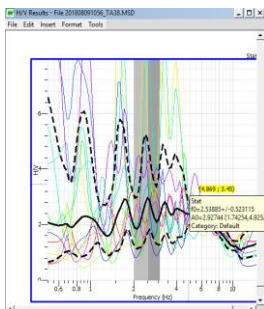
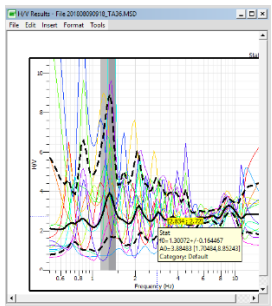
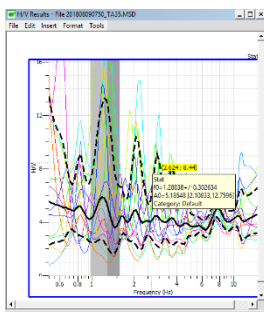
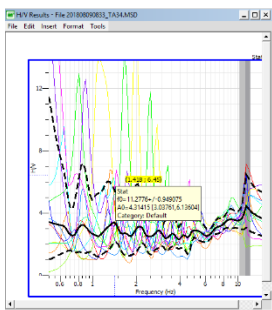
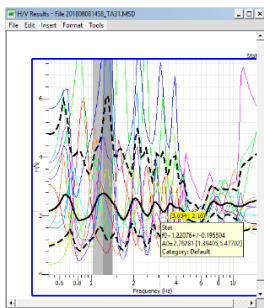
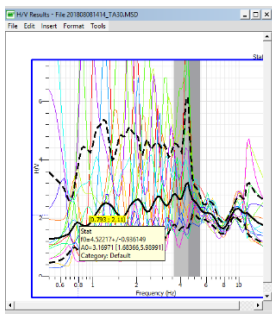
Titik 27



Titik 28



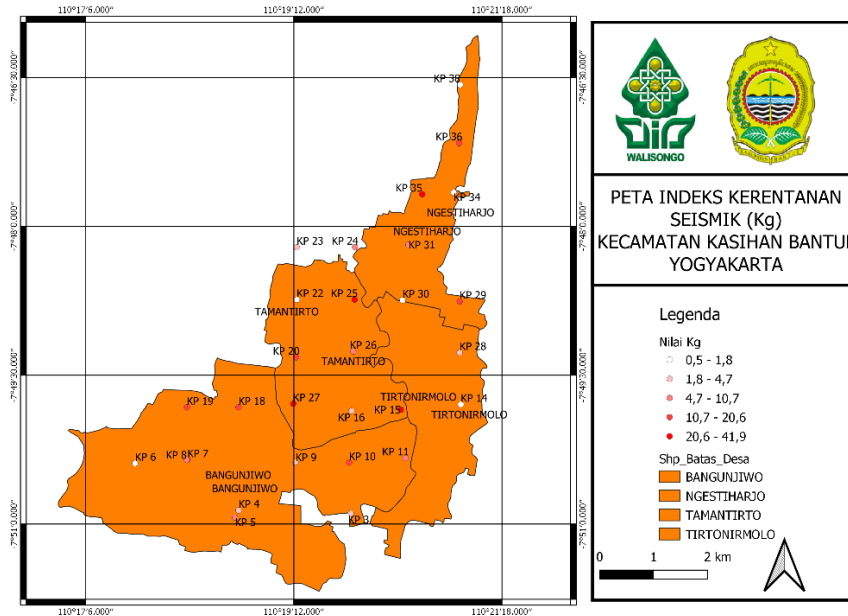
Titik 29



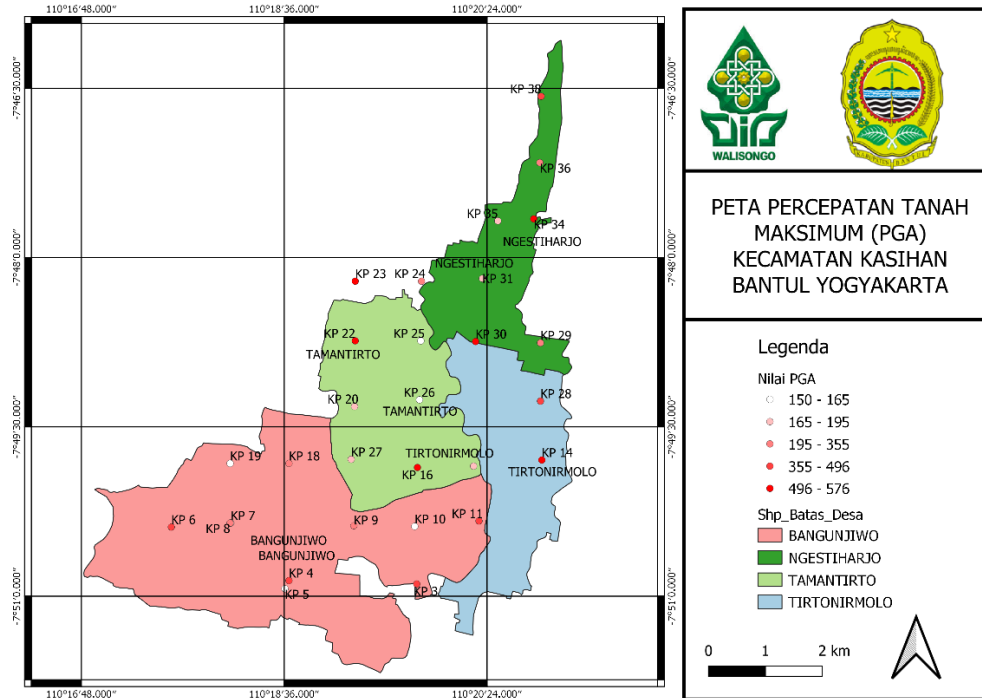
Lampiran 4

Pengolahan *Software* Qgis

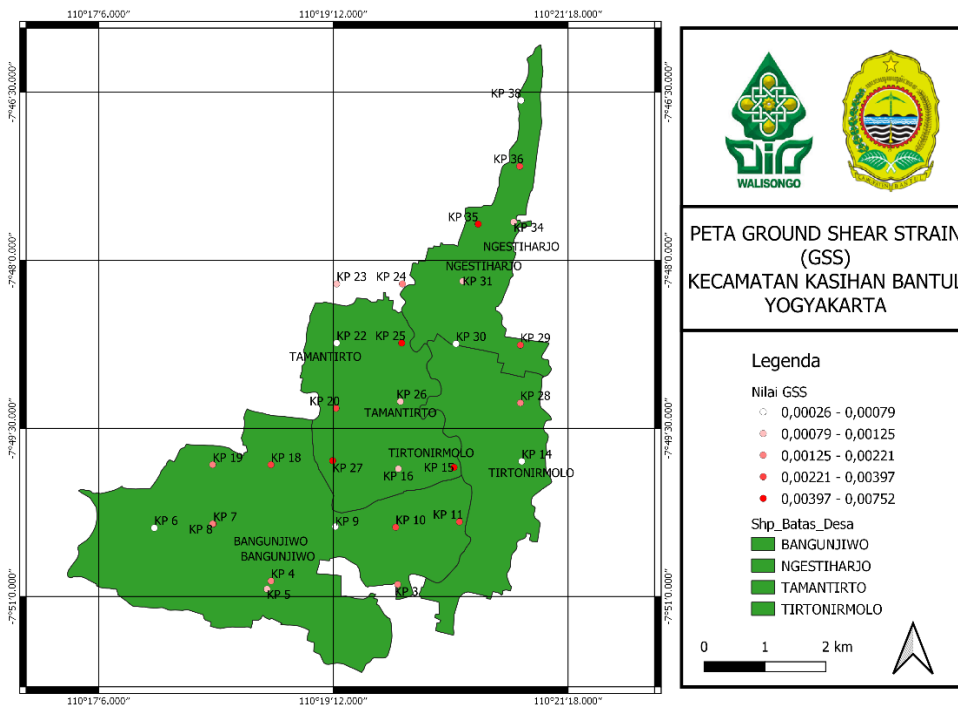
A. Peta Indeks Kerentanan Seismik



A. Peta Peak Ground Acceleration (PGA)



B. Peta *Ground Shear Strain* (GSS)



RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama : Shofi'atur Rofi'ah
2. Tempat, Tgl Lahir : Jepara, 30 Mei 1995
3. Alamat Rumah : Mindahan Rt 03 Rw 01 Batealit
4. No. Hp : 08997532094
5. E-mail : Shofiatur30@gmail.com

B. Pendidikan

1. Formal:
 - a. MI Matholi'un Najah tahun 2002-2008
 - b. MTsN I Jepara tahun 2008-2011
 - c. MAN I Jepara tahun 2011-2014
2. Non-Formal:
 - a. TPQ At-Tibyan Sinanggul
 - b. Pondok Pesantren Salaf Modern Al-Hamidiyah

Semarang, 25 Agustus 2021

Shofi'atur Rofi'ah

1608026023