

**ANALISIS TINGKAT RISIKO TANAH LONGSOR BERDASARKAN
NILAI PEAK GROUND ACCELERATION (PGA) DI DESA PURWOSARI
KECAMATAN GIRIMULYO KABUPATEN KULON PROGO**

SKRIPSI

Diajukan Kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
untuk Menenuhi Persyaratan guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Disusun oleh:

Bagus Arif Prakoso

14306141042

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2018**

LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan judul

ANALISIS TINGKAT RISIKO TANAH LONGSOR BERDASARKAN NILAI PEAK GROUND ACCELERATION (PGA) DI DESA PURWOSARI KECAMATAN GIRIMULYO KABUPATEN KULON PROGO

Disusun oleh:

Bagus Arif Prakoso

NIM 14306141042

telah memenuhi syarat dan disetujui oleh dosen pembimbing untuk dilaksanakan
Ujian Akhir Skripsi bagi yang bersangkutan.

Yogyakarta, 20 Agustus 2018

Menyetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Laila Katriani, M.Si
NIP 19850415 201212 2 001

Nugroho Budi Wibowo, M.Si
NIP 19840223 200801 1 001

Mengetahui
Ketua Program Studi Fisika

Nur Kadarisman, M.Si
NIP 19640205 199101 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

ANALISIS TINGKAT RISIKO TANAH LONGSOR BERDASARKAN NILAI PEAK GROUND ACCELERATION (PGA) DI DESA PURWOSARI KECAMATAN GIRIMULYO KABUPATEN KULON PROGO

Disusun oleh:

Bagus Arif Prakoso
14306141042

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir Skripsi Program Studi
Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri
Yogyakarta

Pada tanggal 28 Agustus 2018

TIM PENGUJI

Nama/Jabatan

Tanda Tangan

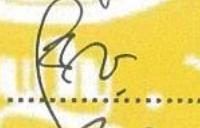
Tanggal

Laila Katriani, M.Si
Ketua Penguji/ Pembimbing I



10 - 9 - 2018

Nugroho Budi Wibowo, M.Si
Sekretaris/Pembimbing II



10 - 9 - 2018

Bambang Ruwanto, M.Si
Penguji Utama



6 - 9 - 2018

Yogyakarta, 10 September 2018
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta

Dekan,



Dr. Hartono

NIP 19620329 198702 1 002

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Bagus Arif Prakoso

NIM : 14306141042

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Judul Skripsi : Analisis Tingkat Risiko Tanah Longsor Berdasarkan Nilai
Peak Ground Acceleration (PGA) di Desa Purwosari
Kecamatan Girimulyo Kabupaten Kulon Progo

menyatakan bahwa karya ini merupakan hasil karya saya sendiri. Sejauh
pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau ide dari orang lain selain yang saya
gunakan sebagai kutipan sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Apabila terdapat
kelalaian dalam penulisan, sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya.

Yogyakarta, 20 Agustus 2018
Yang menyatakan,



Bagus Arif Prakoso
14306141042

MOTTO

*“Kesempatan untuk sukses selalu ada, yang penting
ada kemauan dan berani mencoba”*

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan izin-Nya kupersembahkan karya kecil ini untuk:

1. Kedua orang tuaku tercinta atas semua doa, kasih sayang dan dukungan dalam setiap keputusan yang kuambil.
2. Kakak dan adikku atas berbagai macam bantuan yang telah diberikan kepada saya.
3. Pembimbing-pembimbing saya atas ilmu, bantuan serta motivasi yang selalu diberikan kepada saya selama ini.
4. Semua orang di sekitar saya yang selalu mendukung saya dalam keadaan apapun.

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa tercurah atas kehadirat Alloh SWT yang telah memberikan segala nikmat-Nya, sehingga Tugas Akhir Skripsi yang berjudul “Analisis Tingkat Risiko Tanah Longsor Berdasarkan Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) di Desa Purwosari Kecamatan Girimulyo Kabupaten Kulon Progo” ini dapat terselesaikan.

Penulis mengerti bahwa terselesaikannya penyusunan Tugas Akhir Skripsi ini tidak lepas dari berbagai pihak yang turut membantu dan memberikan berbagai bentuk dukungan. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Bapak Nugroho Budi Wibowo, M.Si., Bapak Denny Darmawan, M.Sc., dan Ibu Laila Katriani, M.Si., selaku pembimbing skripsi yang telah memberikan arahan, masukan, serta semangat selama penyusunan Tugas Akhir Skripsi ini.
2. Bapak Bambang Ruwanto, M.Si., selaku penguji utama yang telah memberikan masukan dan perbaikan dalam Tugas Akhir Skripsi ini.
3. Bapak Drs. Yusman Wiyatmo, M.Si., selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika beserta seluruh dosen dan staf yang telah memberikan bantuan dan fasilitas dalam penyusunan Tugas Akhir Skripsi ini.
4. Bapak Dr. Hartono, M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah memberikan persetujuan pelaksanaan Tugas Akhir Skripsi ini.

5. Seluruh staf dan karyawan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Yogyakarta yang telah memberi bantuan dan memperlancar pengambilan data untuk Tugas Akhir Skripsi ini.
6. Rekan-rekan, teman, dan sahabat, Mono, Zaka, Ersha, Ichwan, Galih, Ikrom, dan Fery yang telah menemani dan memberikan semangat dalam mengerjakan Tugas Akhir Skripsi ini.
7. Teman-teman dari kelas Fisika E 2014 yang telah bersama-sama menjalankan perkuliahan di Program Studi Fisika selama empat tahun.
8. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa berbagai kesalahan dan kekurangan masih banyak dalam tulisan ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terimakasih apabila pembaca berkenan untuk memberikan kritik maupun saran demi penulisan Tugas Akhir Skripsi yang lebih baik. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat.

Yogyakarta, 20 Agustus 2018
Penulis,

Bagus Arif Prakoso
14306141042

**ANALISIS TINGKAT RISIKO TANAH LONGSOR BERDASARKAN
NILAI PEAK GROUND ACCELERATION (PGA) DI DESA PURWOSARI
KECAMATAN GIRIMULYO KABUPATEN KULON PROGO**

Bagus Arif Prakoso

14306141042

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang risiko tanah longsor berdasarkan nilai *peak ground acceleration* (PGA) menggunakan data mikrotremor di Desa Purwosari. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai frekuensi predominan, faktor amplifikasi, dan PGA. Selain itu juga untuk mengetahui potensi tanah longsor berdasarkan nilai PGA dan kemiringan lereng di Desa Purwosari.

Data mikrotremor diambil di 35 titik pengukuran dengan jarak antar titik 1 km. Data mikrotremor dianalisis menggunakan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) untuk memperoleh nilai frekuensi predominan dan faktor amplifikasi. Data hasil pengolahan mikrotremor digunakan untuk menghitung nilai PGA menggunakan metode Kanai. Nilai PGA dan kemiringan lereng digunakan untuk membuat peta zonasi rawan tanah longsor di Desa Purwosari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai frekuensi predominan di Desa Purwosari berada pada kisaran 0,61 – 18,57 Hz, nilai faktor amplifikasi berada pada kisaran 2,66 – 19,11, dan nilai PGA berada pada kisaran 32 – 185 cm/s². Potensi tanah longsor di Desa Purwosari berdasarkan nilai PGA dan kemiringan lereng terbagi menjadi 3 zona yaitu zona risiko rendah, zona risiko sedang, dan zona risiko tinggi. Berdasarkan kejadian tanah longsor di Desa Purwosari dari tahun 2017 sampai tahun 2018, zona risiko tinggi mempunyai kejadian tanah longsor paling banyak, yaitu 25 kejadian.

Kata kunci : *Peak Ground Acceleration*, mikrotremor, lereng.

ANALYSIS OF LANDSLIDE RISKS BASED ON PEAK GROUND ACCELERATION (PGA) VALUES IN PURWOSARI VILLAGE GIRIMULYO KULON PROGO

Bagus Arif Prakoso

14306141042

ABSTRACT

Research on landslide risks based on peak ground acceleration (PGA) had been carried out using microtremor data in Purwosari Village. This research aimed to determine the predominant frequency value, amplification factor, and PGA. In addition, it also aimed to determine the potential for landslides based on PGA values and slope in Purwosari Village.

The microtremor data were taken at 35 measurement points with distance between points of 1 km. Microtremor data were analyzed using HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) method to obtain predominant frequency values and amplification factors. Data from the microtremor analysis is used to calculate the PGA value using Kanai method. The PGA value and slope were used to make landslide-prone zoning maps in Purwosari Village.

The results showed that the predominant frequency value in Purwosari Village was in the range of 0.61 – 18.57 Hz, the amplification factor value was in the range of 2.66 – 19.11, and the PGA value was in the range of 32 – 185 cm/s². Landslide potential in Purwosari Village based on PGA values and slope were divided into 3 zones, which were low risk zone, medium risk zone, and high risk zone. Based on landslide incident in Purwosari Village from 2017 to 2018, High risk zones have the most landslide incidents with 25 incidents.

Keywords : Peak Ground Acceleration, microtremor, slope.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	7
C. Batasan Masalah	7
D. Rumusan Masalah	8
E. Tujuan Penelitian	9
F. Manfaat Penelitian	9
BAB II KAJIAN PUSTAKA	10
A. Dasar Teori	10
1. Tanah Longsor	10
2. Penyebab Terjadinya Tanah Longsor	11
3. Gempa Bumi	14
4. Gelombang Seismik	18
5. Mikrotremor	22

6. HVSR (<i>Horizontal to Vertical Spectra Ratio</i>)	23
7. Frekuensi Predominan dan Periode Predominan	26
8. Faktor Amplifikasi	28
9. Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA)	30
10. Mikrozonasi	31
11. Daerah Penelitian	31
12. Geologi Daerah Penelitian	33
B. Kerangka Berpikir	33
BAB III METODE PENELITIAN	35
A. Waktu dan Tempat Penelitian	35
B. Instrumen Penelitian	35
1. Perangkat Keras	35
2. Perangkat Lunak	36
C. Teknik Pengambilan Data	37
1. Tahap Desain Survei	38
2. Tahap Pengambilan Data	41
D. Teknik Analisis Data	41
1. Menganalisis sinyal mentah mikrotremor	41
2. Menganalisis percepatan getaran tanah maksimum (PGA)	44
3. Membuat klasifikasi kemiringan lereng	45
4. Membuat klasifikasi kejadian tanah longsor	45
5. Pemodelan 3D distribusi nilai faktor amplifikasi	46
6. Peta zonasi rawan tanah longsor	47
E. Diagram Alir Penelitian	49
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	50
A. Frekuensi Predominan	50
B. Faktor Amplifikasi	53
C. Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA)	56
D. Kemiringan Lereng	59
E. Zonasi Rawan Tanah Longsor	62

F. Pemodelan 3D Distribusi Nilai Faktor Amplifikasi	71
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	74
A. Kesimpulan	74
B. Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	79

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Data kejadian bencana tanah longsor di Desa Purwosari dari tahun 2008 sampai tahun 2016	3
Tabel 2. Kelas Kemiringan Lereng	12
Tabel 3. Intensitas gempa bumi skala MMI (<i>Modified Mercally Intensity</i>) ...	16
Tabel 4. Skala Intensitas Gempa Bumi	17
Tabel 5. Klasifikasi Tanah berdasarkan frekuensi predominan tanah oleh Kanai	27
Tabel 6. Persyaratan Teknis Survei Mikrotremor di Lapangan	40
Tabel 7. Nilai <i>threshold</i> untuk keadaan stabil	44
Tabel 8. Klasifikasi nilai <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA)	45
Tabel 9. Klasifikasi kejadian Tanah Longsor di Desa Purwosari	46
Tabel 10. Klasifikasi Zonasi Rawan Tanah Longsor di Desa Purwosari	48
Tabel 11. Klasifikasi Nilai Frekuensi Predominan (f_0) Desa Purwosari	51
Tabel 12. Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi (A_0) Desa Purwosari	54
Tabel 13. Klasifikasi kejadian Tanah Longsor dari tahun 2008 sampai tahun 2016 di Desa Purwosari	65
Tabel 14. Kejadian Tanah Longsor dan Rekahan Tanah di Desa Purwosari....	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Frekuensi Kejadian Bencana Alam di DIY dari tahun 2012 sampai tahun 2016	2
Gambar 2. Peta Sebaran Kejadian Bencana Tanah Longor di Daerah Istimewa Yogyakarta tahun 2015.....	4
Gambar 3. Ilustrasi Gelombang P	19
Gambar 4. Ilustrasi gelombang S	20
Gambar 5. Gelombang Rayleigh	21
Gambar 6. Gelombang Love	21
Gambar 7. Tampilan Hasil Pengukuran Sinyal Mikrotremor di Dusun Tegalsari, Desa Purwosari, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulon Progo pada tanggal 29 September 2017	22
Gambar 8. Hasil pengolahan HVSR pada kurva HVSR di titik pengukuran TA 25	26
Gambar 9. Peta Administrasi Desa Purwosari	32
Gambar 10. Perangkat Keras Pengukuran Mikrotremor, (a) <i>Digital Portable Seismograph</i> , (b) Seismometer, (c) Antena GPS, (d) GPS, (e) Laptop, (f) Kompas	36
Gambar 11. Desain Survei Penelitian di Desa Purwosari	39
Gambar 12. Peta Titik Pengukuran Sinyal Mikrotremor di Desa Purwosari....	39
Gambar 13 Contoh Pemilihan Sinyal pada Titik TA 16	42
Gambar 14. Kurva HVSR pada Titik TA 16	42
Gambar 15. Diagram Alir Penelitian	49
Gambar 16. Peta Pemodelan Frekuensi Predominan Desa Purwosari	52
Gambar 17. Peta Pemodelan Faktor Amplifikasi Desa Purwosari	55
Gambar 18. Peta Pemodelan <i>Peak Ground Acceleration</i> Desa Purwosari	58
Gambar 19. Peta Kemiringan Lereng Desa Purwosari	60
Gambar 20. Peta Zonasi Rawan Tanah Longsor Desa Purwosari	64
Gambar 21. Distribusi Titik-titik Tanah Longsor dan Rekahan Tanah pada Peta Zonasi Rawan Tanah Longsor Desa Purwosari	69

Gambar 22. Kejadian Tanah Longsor Desa Purwosari, (a) Titik 10, (b) Titik A9, (c) Titik A8, (d) Titik 24, (e) Titik A3, (f) Titik 9	70
Gambar 23. Tampilan model 3D distribusi nilai faktor amplifikasi di Desa Purwosari	71
Gambar 24. Hasil sayatan model 3D yang sudah dioverlay dengan 44 titik tanah longsor di Desa Purwosari	72

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Penelitian	79
Lampiran 2. Uji Kriteria <i>Reliable</i> dan <i>Clear Peak</i> SESAME <i>European Research Project</i>	81
Lampiran 3. Kurva HVSR Analisis Mikrotremor	83
Lampiran 4. Perhitungan Jarak Episenter dan Jarak Hiposenter	95
Lampiran 5. Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA)	97
Lampiran 6. Data Kejadian Tanah Longsor dari tahun 2008 sampai tahun 2016 di Desa Purwosari	98
Lampiran 7. Pengolahan Data	105
Lampiran 8. Peta Pemodelan Hasil Penelitian	112
Lampiran 9. Dokumentasi Kejadian Tanah Longsor di Desa Purwosari	116
Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian	117

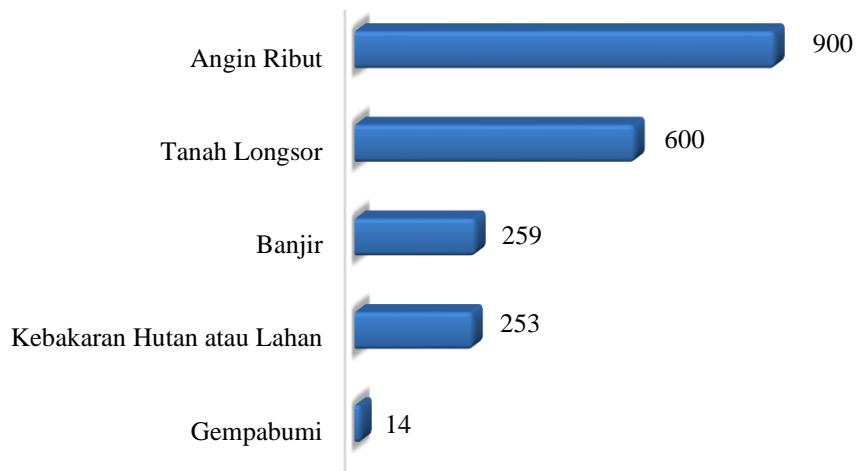
BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang sangat potensial terjadi bencana alam. Indonesia terletak pada batas pertemuan tiga lempeng besar dunia yang sangat aktif, yaitu Lempeng Indo-Australia di bagian selatan, Lempeng Eurasia di bagian utara, dan Lempeng Pasifik di bagian timur (Ibrahim, 2005). Tekanan dari pergerakan lempeng besar bumi ini menyebabkan terjadinya tumbukan antar lempeng yang mengakibatkan terbentuknya zona subduksi, sehingga terbentuk palung laut, jalur busur luar kepulauan, jalur magmatik, dan patahan aktif (Daryono, 2010). Oleh sebab itu, wilayah Indonesia menjadi rawan terhadap bencana alam.

Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) merupakan salah satu daerah rawan bencana alam di Indonesia. Ditinjau dari kondisi geofisiknya, DIY dan sekitarnya terletak pada jalur tektonik dan vulkanik. Sisi utara terdapat Gunung Merapi yang masih aktif, dan sisi selatan (Samudera Hindia) terdapat Palung Jawa yang merupakan jalur subduksi Lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Pertemuan lempeng-lempeng ini merupakan penyebab utama terjadinya gempa tektonik di DIY. Selain gempa bumi, DIY juga mengalami bencana alam lainnya seperti angin ribut, tanah longsor, banjir, dan kebakaran hutan atau lahan (BPS DIY, 2017). Gambar 1 menunjukkan jenis bencana alam dan jumlah kejadian bencana alam dari tahun 2012 sampai tahun 2016 di DIY.



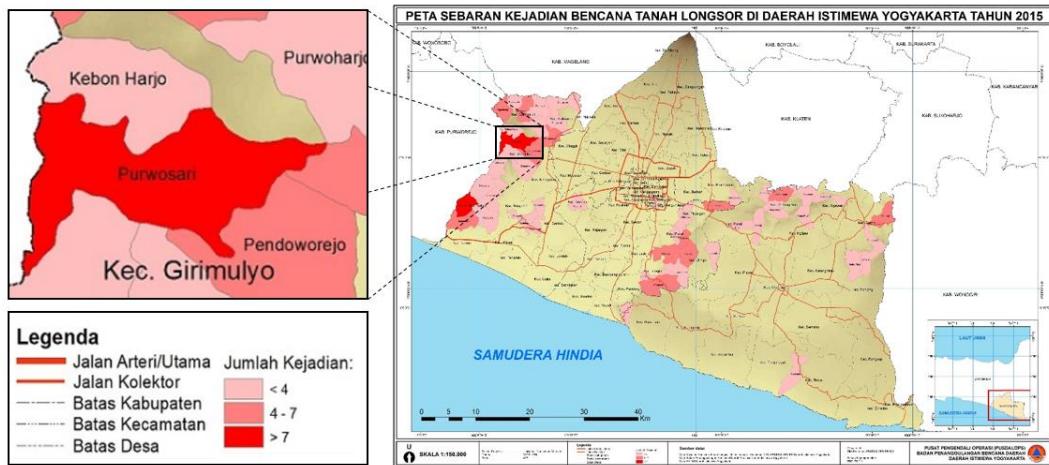
Gambar 1. Frekuensi Kejadian Bencana Alam di DIY dari tahun 2012 sampai tahun 2016 (BPS DIY, 2017)

Kabupaten Kulon Progo yang merupakan salah satu kabupaten di DIY mempunyai angka kejadian tanah longsor yang tinggi. Hal itu dikarenakan kondisi topografi Kulon Progo yang memiliki ketinggian antara 0 – 1.000 meter di atas permukaan air laut yang terbagi menjadi 3 wilayah yaitu bagian utara, bagian tengah, dan bagian selatan. Bagian utara merupakan dataran tinggi atau Perbukitan Menoreh dengan ketinggian antara 500 – 1.000 meter di atas permukaan air laut, meliputi Kecamatan Girimulyo, Kecamatan Kokap, Kecamatan Kalibawang, dan Kecamatan Samigaluh. Bagian tengah merupakan daerah perbukitan dengan ketinggian antara 100 – 500 meter di atas permukaan air laut, meliputi Kecamatan Nanggulan, Kecamatan Sentolo, Kecamatan Pengasih, dan sebagian wilayah Kecamatan Lendah. Bagian selatan merupakan daerah dataran rendah dengan ketinggian 0 – 100 meter di atas permukaan air laut, meliputi Kecamatan Temon, Kecamatan Wates, Kecamatan Panjatan, Kecamatan Galur, dan sebagian wilayah Kecamatan Lendah (BPS Kulon Progo, 2017).

Kecamatan Girimulyo merupakan wilayah bagian utara Kabupaten Kulon Progo yang mempunyai angka kejadian tanah longsor yang tinggi, khususnya di wilayah penelitian yakni Desa Purwosari. Berdasarkan Peta Sebaran Kejadian Bencana Tanah Longsor di Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2015 (Gambar 2), Desa Purwosari berada pada zona merah dengan jumlah kejadian tanah longsor lebih dari 7 (BPBD DIY, 2015). Berdasarkan data BPBD Kulon Progo (2017), tercatat sepanjang tahun 2008 hingga tahun 2016 di Desa Purwosari telah terjadi tanah longsor sebanyak 163 kali yang tersebar pada 13 dusun. Adapun rincian kejadian tanah longsor seperti yang ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1. Data kejadian bencana tanah longsor di Desa Purwosari dari tahun 2008 sampai tahun 2016 (BPBD Kulon Progo, 2017).

Nama Dusun	Tahun Kejadian Longsor									Jml
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Prankokan	3	0	0	0	0	1	1	0	3	8
Tegalsari	1	0	1	0	3	0	2	0	0	7
Sabrangkidul	2	0	2	0	0	2	0	0	2	8
Patihombo	2	0	2	0	2	2	2	1	2	13
Gedong	1	2	1	1	0	2	4	3	4	18
Wonosari	4	0	3	2	0	0	0	1	2	12
Ngroto	4	0	2	0	2	1	1	4	6	20
Kedung Tawang	3	0	2	1	0	1	1	2	3	13
Karangrejo	3	1	3	1	0	1	0	1	0	10
Ngaglik	0	0	3	3	0	0	1	2	6	15
Ponces	0	1	2	2	1	1	2	2	0	11
Penggung	0	3	3	0	1	0	0	2	1	10
Nogosari	2	0	5	2	3	0	2	2	2	18
Jumlah	25	7	29	12	12	11	16	20	31	163



Gambar 2. Peta Sebaran Kejadian Bencana Tanah Longor di Daerah Istimewa Yogyakarta tahun 2015 (BPBD DIY, 2015).

Tanah longsor atau sering disebut dengan gerakan massa tanah adalah salah satu bencana alam yang telah memberikan banyak dampak sosial dan ekonomi pada masyarakat seperti rusaknya sarana umum, transportasi, dan telekomunikasi bahkan tidak sedikit menelan banyak korban jiwa. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu langkah mitigasi bencana supaya dampak dari adanya bencana longsor dapat dikurangi. Menurut Karnawati (2005), gerakan massa tanah terjadi akibat terganggunya kestabilan tanah atau batuan penyusun lereng, sehingga massa tanah atau batuan penyusun lereng maupun percampuran keduanya mengalami gerakan menuruni lereng.

Tanah longsor pada prinsipnya terjadi bila gaya pendorong pada lereng lebih besar dibandingkan dengan gaya penahan. Gaya penahan pada umumnya dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah, sedangkan gaya pendorong dipengaruhi oleh intensitas hujan yang tinggi, beban, berat jenis tanah batuan dan besarnya sudut lereng atau kemiringan lereng. Selain itu, tanah longsor biasanya

disebabkan karena terjadinya getaran. Getaran yang terjadi biasanya diakibatkan oleh gempa bumi.

Gempa bumi (*earthquakes*) adalah getaran tanah yang ditimbulkan oleh lewatnya gelombang seismik yang dipancarkan oleh suatu sumber energi elastik yang dilepaskan secara tiba-tiba. Gelombang yang dipancarkan menjalar melalui batuan-batuan di dalam bumi (Edwiza dan Novita, 2008). Sebagai akibat dari gempa bumi yang terjadi di DIY pada 27 Mei 2006, lebih dari 150 kejadian gerakan massa batuan terjadi di sepanjang tebing bagian barat dan utara Pegunungan Selatan yang berada di DIY (Karnawati, 2005).

Salah satu parameter gempa bumi adalah percepatan getaran tanah. Percepatan getaran tanah adalah parameter yang menyatakan perubahan kecepatan tanah mulai saat diam sampai pada kecepatan tertentu. Percepatan getaran tanah dibagi menjadi dua yakni percepatan tanah maksimum (*peak ground acceleration*) dan percepatan tanah sesaat. Percepatan tanah maksimum adalah nilai percepatan tanah yang dihitung pada titik amat di permukaan bumi dari riwayat terjadinya gempa bumi dalam periode tertentu dan diambil nilai yang terbesar. Nilai percepatan tanah sesaat adalah nilai percepatan getaran tanah di saat terjadi gempa pada suatu titik tertentu (Hartati, 2010). Besarnya percepatan getaran tanah maksimum dapat diperoleh melalui pengukuran secara langsung dengan *accelerograph* atau diukur secara tidak langsung dengan pengolahan data mikrotremor.

Mikrotremor merupakan getaran lemah dari tanah yang disebabkan oleh gangguan alam atau buatan, seperti angin, gelombang laut, lalu lintas dan industri.

Pada penelitian ini, data mikrotremor diolah menggunakan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Metode ini membandingkan spektrum horizontal dengan spektrum vertikal dari sinyal mikrotremor. Parameter penting yang dihasilkan metode HVSR adalah frekuensi predominan dan amplifikasi (Nakamura, 1989). Percepatan getaran tanah maksimum dari data mikrotremor dapat diperoleh dengan menggunakan metode Kanai (1966). Metode Kanai (1966) dipilih karena memperhitungkan karakteristik tanah yang ikut berpengaruh terhadap percepatan getaran tanah maksimum suatu tempat, sehingga parameter periode predominan tanah yang diperoleh dari analisis data mikrotremor dengan menggunakan metode HVSR menjadi sangat penting. Metode Kanai (1966) melibatkan parameter gempa bumi seperti magnitudo gempa bumi, jarak hiposenter dengan titik pengukuran dan periode predominan tanah.

Banyak penelitian yang membahas tentang percepatan getaran tanah maksimum, di antaranya adalah nilai percepatan getaran tanah maksimum di Kabupaten Kulon Progo pada kasus gempa bumi yang terjadi di Kebumen, 25 Januari 2014 menggunakan metode Kanai dengan nilai berkisar antara 16 – 61 cm/s² (Lian, 2014). Nilai percepatan getaran tanah maksimum di Dusun Patuk menggunakan metode Tong dan Katayama dengan nilai berkisar antara 53,58 – 57,5 cm/s² (Lathifah, 2015). Nilai percepatan getaran tanah maksimum di Kecamatan Jetis Kabupaten Bantul menggunakan metode Kanai dengan nilai berkisar antara 3,261 – 125,45 cm/s² (Fransisko, 2015). Hasil perhitungan percepatan getaran tanah maksimum di Daerah Istimewa Yogyakarta menggunakan metode NGA (*Next Generation Attenuation*) dengan nilai berkisar antara 112,04 – 389 cm/s² (Afidah *et*

al., 2015). Nilai percepatan getaran tanah maksimum di Kawasan Jalur Sesar Opak menggunakan metode Kanai dengan nilai berkisar antara $39,24 - 485,37 \text{ cm/s}^2$ (Addawiyah, 2017).

Berdasarkan uraian di atas maka dilakukan penelitian dengan judul “Analisis Tingkat Risiko Tanah Longsor Berdasarkan Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) di Desa Purwosari Kecamatan Girimulyo Kabupaten Kulon Progo”.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, dapat diidentifikasi masalah-masalah sebagai berikut:

1. DIY merupakan salah satu daerah di Indonesia yang rawan bencana alam.
2. Kabupaten Kulon Progo merupakan salah satu daerah yang mempunyai angka kejadian tanah longsor yang tinggi, hal itu dikarenakan oleh kondisi topografi Kulon Progo yang memiliki ketinggian antara 0 – 1.000 meter di atas permukaan air laut.
3. Potensi pergerakan tanah yang masih belum dijelaskan secara terperinci dan diketahui masyarakat.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah dipaparkan di atas, batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Lokasi penelitian terletak di Desa Purwosari Kecamatan Girimulyo Kabupaten Kulon Progo yang dibatasi pada koordinat $7^{\circ}42'24'' \text{ LS} - 7^{\circ}43'34'' \text{ LS}$ dan $110^{\circ}08'00'' \text{ BT} - 110^{\circ}11'15'' \text{ BT}$.

2. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data mikrotremor di Desa Purwosari.
3. Pengambilan dan pengolahan data mikrotremor mengacu pada aturan yang ditetapkan oleh SESAME *European Research Project*.
4. Pengolahan data mikrotremor menggunakan teknik pengolahan *Horizontal to Vertical Spectra Ratio* (HVSR).
5. Data kejadian bencana tanah longsor yang digunakan yaitu data kejadian dari tahun 2008 sampai tahun 2016 di Desa Purwosari.
6. Perhitungan nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) menggunakan metode Kanai berdasarkan kejadian gempa bumi yang digunakan yakni gempa bumi Yogyakarta 27 Mei 2006.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah yang telah disebutkan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa besar nilai frekuensi predominan dan faktor amplifikasi di Desa Purwosari?
2. Berapa besar nilai *peak ground acceleration* (PGA) di Desa Purwosari?
3. Bagaimana potensi tanah longsor berdasarkan nilai *peak ground acceleration* (PGA) dan kemiringan lereng di Desa Purwosari?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Menentukan nilai frekuesi predominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) di Desa Purwosari.
2. Menentukan besarnya nilai *peak ground acceleration* (PGA) di Desa Purwosari.
3. Menentukan potensi tanah longsor berdasarkan nilai *peak ground acceleration* (PGA) dan kemiringan lereng di Desa Purwosari.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi tentang daerah yang rawan bencana tanah longsor berdasarkan nilai *peak ground acceleration* (PGA) dan kemiringan lereng di Desa Purwosari.
2. Dapat sebagai pertimbangan bagi masyarakat apabila akan mendirikan bangunan di Desa Purwosari.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Dasar Teori

1. Tanah Longsor

Tanah longsor merupakan bentuk erosi dimana pengangkutan atau gerakan massa tanah terjadi pada suatu saat dalam volume yang relatif besar. Peristiwa tanah longsor yang dikenal sebagai gerakan massa tanah, batuan atau kombinasinya, sering terjadi pada lereng-lereng alam atau buatan dan sebenarnya merupakan fenomena alam yaitu alam mencari keseimbangan baru akibat adanya gangguan atau faktor yang mempengaruhinya dan menyebabkan terjadinya kuat geser serta peningkatan tegangan geser tanah (Suripin, 2002).

Tanah longsor merupakan perpindahan material pembentuk suatu lereng. Material pembentuk lereng terdiri dari komposisi batuan yang beraneka ragam. Pergerakan material batuan dapat terjadi secara spontan ataupun perlahan. Faktor yang mempengaruhi terjadinya tanah longsor antara lain kemiringan lereng, struktur batuan, adanya bidang geser atau bidang gelincir, dan curah hujan (Diandong *et al.*, 2011). Secara umum apabila material batuan pembentuk lereng berada di atas suatu batuan yang kedap air, maka material di atasnya mudah bergeser. Lapisan batuan yang kedap air sering disebut dengan bidang gelincir. Oleh karena itu, salah satu pemicu terjadinya tanah longsor adalah curah hujan. Air hujan yang meresap ke dalam lapisan batuan akan mengganggu stabilitas material batuan itu sendiri. Air yang meresap dalam material batuan akan menambah berat dari batuan tersebut. Ketika air tidak dapat menembus bidang gelincir maka air

justru akan mempermudah lapisan batuan di atas bidang gelincir bergeser ke bawah. Apabila hal ini terjadi maka tanah longsor tidak dapat dihindari lagi (Soenarmo *et al.*, 2008).

2. Penyebab Terjadinya Tanah Longsor

Menurut Nandi (2007), gejala umum tanah longsor ditandai dengan munculnya retakan-retakan di lereng yang sejajar dengan arah tebing, biasanya terjadi setelah hujan, munculnya mata air baru secara tiba-tiba dan tebing rapuh serta kerikil mulai berjatuhan. Faktor lainnya adalah sebagai berikut:

a. Hujan

Musim kering yang panjang akan menyebabkan terjadinya penguapan air di permukaan tanah dalam jumlah besar. Hal ini mengakibatkan munculnya pori-pori tanah hingga terjadi retakan dan merekahnya tanah ke permukaan. Ketika hujan, air akan menyusup ke bagian yang retak sehingga tanah dengan cepat mengembang kembali. Pada awal musim hujan, intensitas hujan yang tinggi biasanya sering terjadi, sehingga kandungan air pada tanah menjadi jenuh dalam waktu yang singkat. Hujan lebat pada awal musim dapat menimbulkan longsor karena melalui tanah yang merekah air akan masuk dan terakumulasi di bagian dasar lereng, sehingga menimbulkan gerakan lateral.

b. Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng merupakan beda tinggi antara dua tempat yang dibandingkan dengan daerah yang relatif lebih rata atau datar. Kemiringan lereng dapat juga diartikan sebagai ukuran kemiringan lahan relatif terhadap bidang datar

yang secara umum dinyatakan dalam persen atau derajat. Kelas kemiringan lereng dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kelas Kemiringan Lereng (Van Zuidam, 1983).

Kelas	Kemiringan (%)	Klasifikasi
I	< 3	Datar
II	3 – 15	Kemiringan rendah
III	16 – 25	Kemiringan sedang
IV	26 – 40	Kemiringan tinggi
V	> 40	Curam

c. Tanah yang Kurang Padat dan Tebal

Jenis tanah yang kurang padat adalah tanah lempung atau tanah liat dengan ketebalan lebih dari 2,5 meter. Tanah jenis ini memiliki potensi untuk terjadinya tanah longsor terutama bila terjadi hujan. Selain itu tanah ini sangat rentan terhadap pergerakan tanah karena menjadi lembek terkena air dan pecah ketika hawa terlalu panas.

d. Batuan yang Kurang Kuat

Batuan endapan gunung api dan sedimen berukuran pasir dan campuran antara kerikil, pasir dan lempung umumnya kurang kuat. Batuan tersebut akan mudah menjadi tanah apabila mengalami proses pelapukan dan umumnya rentan terhadap tanah longsor bila terdapat pada lereng yang terjal.

e. Jenis Tata Lahan

Tanah longsor banyak terjadi di daerah lahan persawahan, perladangan, dan adanya genangan air di lereng yang terjal. Pada lahan persawahan akarnya kurang kuat untuk mengikat butir tanah yang membuat tanah menjadi lembek dan jenuh

dengan air sehingga mudah longsor, sedangkan untuk daerah perladangan penyebabnya adalah karena akar pohonnya tidak dapat menembus bidang longsoran yang dalam dan umumnya terjadi di daerah longsoran lama.

f. Getaran

Getaran yang terjadi biasanya diakibatkan oleh gempa bumi, ledakan, getaran mesin dan getaran lalu lintas kendaraan. Akibat yang ditimbulkan adalah tanah, badan jalan, lantai dan dinding rumah menjadi retak.

Menurut Yusuf (2008) secara garis besar penyebab terjadinya tanah longsor yaitu faktor alami dan faktor manusia. Faktor alami yang menjadi penyebab utama terjadinya longsor antara lain:

- a. Kondisi geologi: batuan lapuk, kemiringan lapisan, sisipan lapisan batu lempung, struktur sesar dan kekar, gempa bumi, stratigrafi dan gunung api.
- b. Iklim: curah hujan yang tinggi.
- c. Keadaan topografi: lereng yang curam.
- d. Keadaan tata air: kondisi drainase yang tersumbat, akumulasi massa air, erosi dalam, pelarutan dan tekanan hidrostatik.
- e. Tutupan lahan yang mengurangi tahan geser.

Adapun faktor manusia yang menjadi penyebab terjadinya longsor adalah sebagai berikut:

- a. Pemotongan tebing pada penambangan batu di lereng yang terjal.
- b. Penimbunan tanah urugan di daerah lereng.
- c. Kegagalan struktur dinding penahan tanah.
- d. Penggundulan hutan.

- e. Budidaya kolam ikan hias di atas lereng.
- f. Sistem pertanian yang tidak memperhatikan irigasi yang aman.
- g. Sistem drainase daerah lereng yang tidak baik.

3. Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan salah satu hal yang dapat menimbulkan penjalaran gelombang seismik. Gempa bumi merupakan gejala alam yang disebabkan oleh pelepasan energi regangan elastis batuan yang disebabkan adanya deformasi batuan yang terjadi di litosfer. Semakin besar energi yang dilepaskan semakin besar pula gempa bumi yang terjadi (Novianta dan Setyaningsih, 2015).

Berdasarkan kedalaman pusat sumber gempa bumi, gempa bumi diklasifikasikan menjadi tiga yaitu (Ihsan, 2008):

- a. Gempa bumi dalam, yaitu gempa bumi yang memiliki kedalaman hiposenter lebih dari 300 km di bawah permukaan bumi.
- b. Gempa bumi menengah, yaitu gempa bumi yang memiliki kedalaman hiposenter antara 70 km – 300 km di bawah permukaan bumi.
- c. Gempa bumi dangkal, yaitu gempa bumi yang memiliki kedalaman hiposenter kurang dari 70 km di bawah permukaan bumi.

Parameter dasar gempa bumi yang mempengaruhi terjadinya gempa bumi adalah:

- a. Waktu kejadian gempa bumi (*origin time*) adalah waktu terlepasnya akumulasi tegangan yang berbentuk penjalaran gelombang gempa bumi dan dinyatakan dalam hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit, detik dalam satuan WIB atau UTC (*Universal Time Coordinated*).

- b. Hiposenter adalah tempat terjadinya gempa bumi atau pergeseran tanah di dalam bumi.
- c. Episenter adalah titik yang diproyeksikan tepat berada di atas hiposenter pada permukaan bumi.
- d. Magnitudo adalah ukuran kekuatan gempa bumi yang menggambarkan besarnya energi yang terlepas pada saat gempa bumi dan merupakan hasil pengamatan seismograf.

Gempa bumi secara alamiah sulit diprediksi, sehingga jika terjadi menimbulkan banyak kerugian dan korban jiwa. Tingkat kerusakan atau dampak yang ditimbulkan oleh gempa bumi dapat diperkirakan berdasarkan intensitas gempa tersebut. Intensitas merupakan besaran yang dipakai untuk mengukur suatu gempa selain dengan magnitudo. Intensitas gempa bumi dinyatakan dalam skala Mercally yang biasa disebut MMI (*Modified Mercally Intensity*) seperti pada Tabel 3. Skala gempa bumi MMI bersifat kualitatif, skala intensitas ini sangat subjektif dan bergantung pada kondisi lokasi dimana gempa terjadi. Gempa dengan magnitudo yang sama, namun terjadi pada dua lokasi yang berbeda akan memberikan nilai intensitas yang berbeda (Lowrie, 2007) seperti yang dijelaskan pada Tabel 3. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) menetapkan satuan Skala Intensitas Gempa bumi (SIG-BMKG) seperti pada Tabel 4. Skala Intensitas Gempa bumi (SIG-BMKG) digagas dan disusun dengan mengakomodir keterangan dampak gempa bumi berdasarkan tipikal budaya atau bangunan di Indonesia. Skala ini menggantikan skala intensitas MMI yang sebelumnya diterapkan di Indonesia (BMKG, 2018).

Tabel 3. Intensitas gempa bumi skala MMI (*Modified Mercally Intensity*) (Lowrie, 2007).

Tingkat Kerawanan	Skala MMI	Rentang Nilai MMI	PGA (gal)	Dampak atau Tingkat Kerusakan yang ditimbulkan
Rendah	I	0,5 – 1,49	< 1,7	Getaran tidak dapat dirasakan kecuali dalam keadaan hening, dan hanya dirasakan oleh beberapa orang.
	II	1,50 – 2,50	1,7 – 14	Getaran dirasakan oleh beberapa orang yang diam, berada di ruangan tingkat atas, dan benda-benda ringan yang digantung terlihat bergoyang.
	III	2,50 – 3,50		Getaran dirasakan di rumah tingkat atas, getaran terasa seperti ada truk yang lewat.
	IV	3,50 – 4,50	14 – 39	Pada siang hari dirasakan oleh banyak orang di dalam rumah, beberapa orang di luar rumah, kendaraan yang diam terlihat.
Menengah	V	4,50 – 5,50	39 – 92	Hampir semua orang merasakan getaran, jendela kaca dan plester dinding pecah, barang-barang terpelanting, pohon-pohon yang tinggi tampak bergoyang.
	VI	5,50 – 6,50	92 – 180	Getaran dirasakan oleh semua penduduk, mayoritas penduduk kaget dan lari keluar, plester dinding dan cerobong asap pabrik rusak. Terjadi kerusakan ringan.
	VII	6,50 – 7,50	180 – 340	Semua orang keluar rumah, kerusakan ringan pada rumah dengan konstruksi baik. Cerobong asap pecah. Getaran terasa oleh orang yang naik kendaraan.
	VIII	7,50 – 8,50	340 – 650	Kerusakan ringan pada bangunan dengan konstruksi kuat, retak-retak pada bangunan yang kuat. Banyak kerusakan pada bangunan yang tidak kuat. Meja kursi terlempar, air menjadi keruh dan sulit mengendarai kendaraan.
Tinggi	IX	8,50 – 9,50	650 – 1240	Umumnya pondasi rumah rusak, rangka struktur bangunan terpuntir, rumah tampak bergeser dari pondasinya, pipa-pipa dalam tanah terputus.
	X	9,50 – 10,50	> 1240	Bangunan tembok pondasinya hancur, bangunan kayu rusak, dan rel kereta api sedikit membengkok.
	XI	10,50 – 11,50		Rel kereta api Bengkok, rumah kayu sedikit yang masih berdiri, jembatan rusak, pipa saluran rusak berat dan tidak dapat digunakan.
	XII	11,50 – 12,50		Kerusakan hampir meyeluruh, benda-benda terlempar ke udara.

Tabel 4. Skala Intensitas Gempa Bumi (BMKG, 2018).

Skala SIG-BMKG	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI	PGA (gal)
I	Tidak dirasakan	Tidak dirasakan atau dirasakan hanya oleh beberapa orang tetapi terekam oleh alat.	I – II	< 2,9
II	Dirasakan	Dirasakan oleh orang banyak tetapi tidak menimbulkan kerusakan. Benda-benda ringan yang digantung bergoyang dan jendela kaca bergetar.	III – V	2,9 – 88
III	Kerusakan ringan	Bagian non struktur bangunan mengalami kerusakan ringan, seperti retak rambut pada dinding, genteng bergeser ke bawah dan sebagian berjatuhan.	VI	89 – 167
IV	Kerusakan sedang	Banyak retakan terjadi pada dinding bangunan sederhana, sebagian roboh, kaca pecah. Sebagian plester dinding lepas. Hampir sebagian besar atap bergeser ke bawah atau jatuh. Struktur bangunan mengalami kerusakan ringan sampai sedang.	VII – VIII	168 – 564
V	Kerusakan Berat	Sebagian besar dinding bangunan permanen roboh. Struktur bangunan mengalami kerusakan berat. Rel kereta api melengkung.	IX – XII	> 564

4. Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang elastik yang merambat di dalam bumi. Perambatan gelombang ini bergantung pada sifat elastisitas batuan. Gelombang seismik ada yang merambat melalui interior bumi yang disebut *body wave* atau gelombang badan dan ada juga yang merambat melalui permukaan bumi yang disebut *surface wave* atau gelombang permukaan (Telford *et al.*, 2004).

a. Gelombang Badan (*Body Wave*)

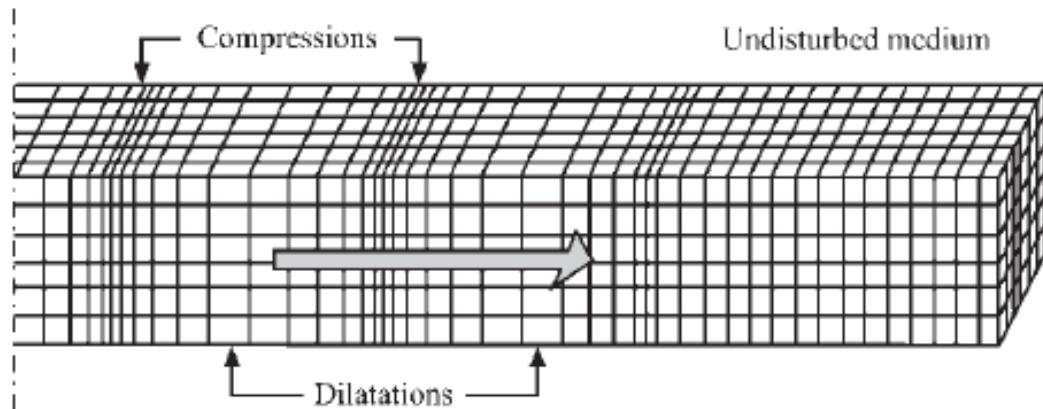
Gelombang badan merupakan gelombang yang menjalar dalam media elastik serta menjalar ke seluruh bagian di dalam bumi. Berdasarkan gerak partikel, media dan arah penjalarannya, gelombang dapat dibedakan menjadi dua jenis yakni:

1) Gelombang Primer (P)

Gelombang primer disebut juga dengan gelombang kompresi atau gelombang longitudinal. Gelombang ini memiliki kecepatan perambatan gelombang yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan gelombang sekunder. Arah simpangan gelombang P searah dengan arah perambatannya. Ilustrasi gerak gelombang P ditunjukkan pada Gambar 3. Gelombang P menjalar pada medium padat, cair, maupun gas. Persamaan kecepatan penjalaran gelombang dirumuskan dengan persamaan (Kayal, 2008).

$$V_P = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (1)$$

dengan V_P adalah kecepatan gelombang P (m/s), k adalah modulus *bulk* (Pa), μ adalah modulus geser (Pa), dan ρ adalah densitas batuan (kg/m^3).



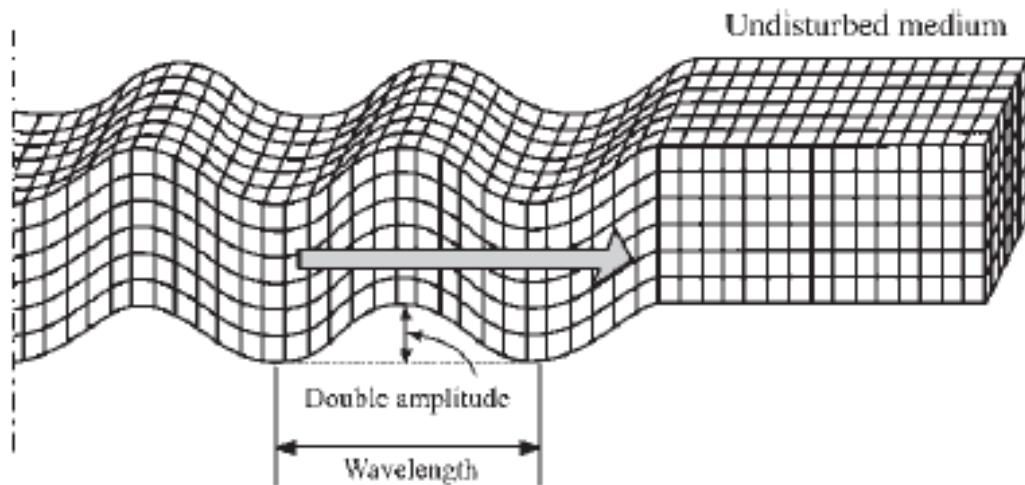
Gambar 3. Ilustrasi Gelombang P (Elnashai dan Sarno, 2008).

2) Gelombang Sekunder (S)

Gelombang sekunder disebut juga gelombang *shear* atau gelombang transversal. Gelombang ini kecepatan rambatnya lebih lambat dibandingkan dengan gelombang P. Arah simpangan gelombang S tegak lurus terhadap arah rambatnya. Ilustrasi gerak gelombang S ditunjukkan pada Gambar 4. Perambatan gelombang S dipengaruhi oleh modulus geser dan densitas batuan sehingga gelombang S hanya dapat menjalar pada medium padat saja. Persamaan kecepatan penjalaran gelombang adalah (Telford, *et al.*, 2004).

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

dengan V_S adalah kecepatan gelombang S (m/s) , μ adalah modulus geser (Pa), dan ρ adalah densitas batuan (kg/m^3).



Gambar 4. Ilustrasi gelombang S (Elnashai dan Sarno, 2008).

b. Gelombang Permukaan

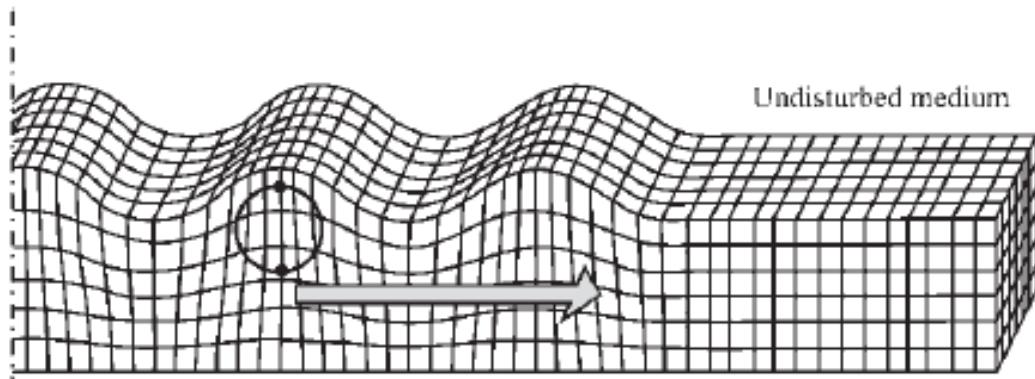
Gelombang permukaan menjalar lebih lambat daripada gelombang badan, namun mengakibatkan kerusakan yang lebih besar. Hal ini dikarenakan gelombang permukaan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk melewati permukaan bumi.

Gelombang permukaan dibedakan menjadi dua, yaitu:

1) Gelombang Rayleigh

Gelombang Rayleigh merupakan salah satu gelombang permukaan yang gerakan partikelnya menyerupai elips dan tegak lurus terhadap permukaan dan arah penjalarannya. Gelombang ini terjadi akibat interferensi antara gelombang tekan dengan gelombang geser secara konstruktif (Susilawati, 2008). Ilustrasi gelombang Rayleigh ditunjukkan pada Gambar 5. Kecepatan gelombang Rayleigh bergantung pada konstanta elastik dan kecepatannya lebih kecil dari V_S . Persamaan kecepatan gelombang Rayleigh adalah (Elnashai dan Sarno, 2008).

$$V_R = 0,92\sqrt{V_S} \quad (3)$$

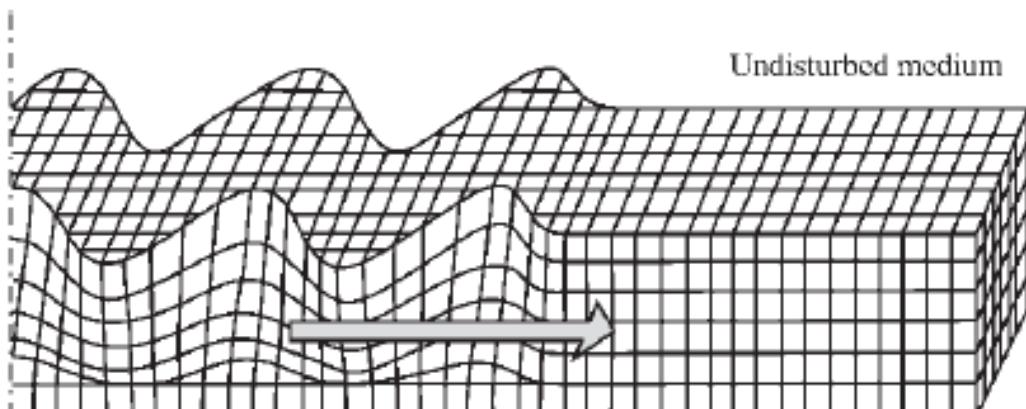


Gambar 5. Gelombang Rayleigh (Elnashai dan Sarno, 2008).

2) Gelombang Love

Gelombang Love merupakan gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal. Gerakan partikel medium mirip dengan gerakan pada gelombang S. Ilustrasi gelombang Love ditunjukkan pada Gambar 6. Kecepatan penjalarannya bergantung pada panjang gelombangnya dan bervariasi di sepanjang permukaan. Persamaan kecepatan gelombang Love (V_Q) dinyatakan sebagai (Lowrie, 2007):

$$V_R < V_Q < V_S \quad (4)$$

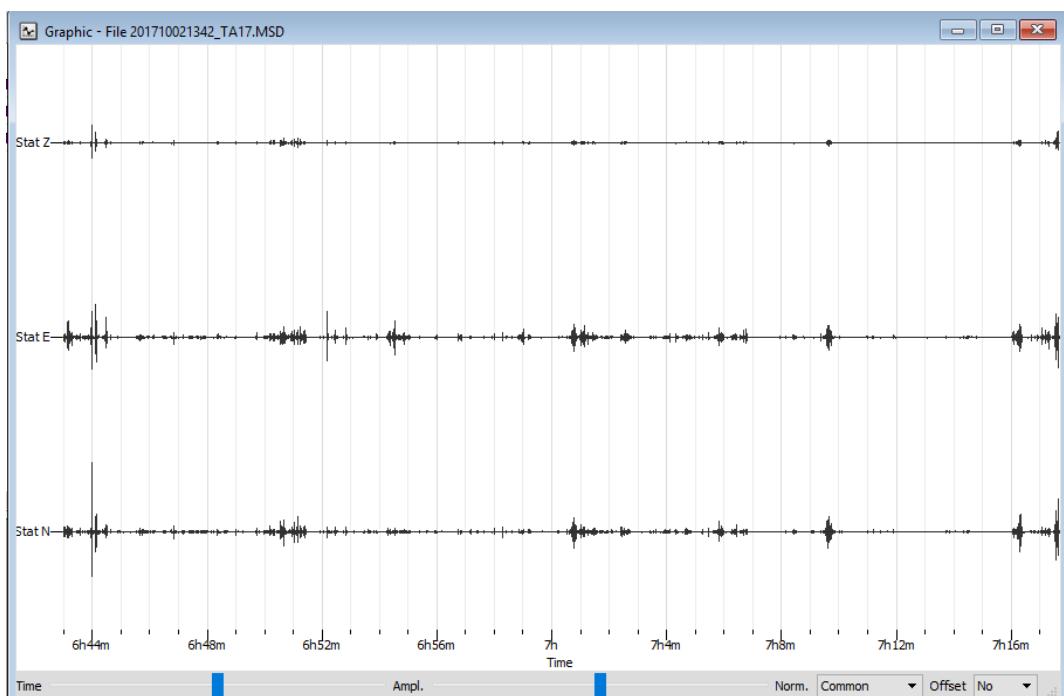


Gambar 6. Gelombang Love (Elnashai dan Sarno, 2008).

5. Mikrotremor

Mikrotremor merupakan getaran tanah dengan amplitudo pergeseran sekitar $0,1 - 1 \mu\text{m}$ dan amplitudo kecepatan $0,001 - 0,01 \text{ cm/s}$. Mikrotremor periode panjang dengan periode lebih dari 1 detik terkait dengan tanah yang lebih dalam yang menunjukkan dasar dari batuan keras (Mirzaoglu, 2003).

Menurut Ibrahim dan Subardjo (2005), mikrotremor terjadi karena getaran akibat orang berjalan, getaran mobil, getaran mesin pabrik, getaran angin, gelombang laut atau getaran alamiah dari tanah. Sinyal mikrotremor terdiri dari tiga komponen yaitu dua komponen horizontal (Barat-Timur, Utara-Selatan) dan satu komponen vertikal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Tampilan hasil Pengukuran Sinyal Mikrotremor di Dusun Tegalsari, Desa Purwosari, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulon Progo pada tanggal 29 September 2017.

Gambar 7 menunjukkan bahwa mikrotremor merupakan sinyal yang terdiri dari dua komponen horizontal yang ditunjukkan oleh spektrum Stat E (Barat-Timur), dan spektrum Stat N (Utara-Selatan) serta satu komponen vertikal yang ditunjukkan oleh spektrum Stat Z. Mikrotremor didominasi oleh gelombang permukaan yang dapat digunakan dalam teknik kegempaan.

Mikrotremor juga dikenal sebagai getaran alam (*ambient vibration*) yang berasal dari dua sumber utama yaitu alam dan manusia. Pada frekuensi rendah yaitu di bawah 1 Hz, sumber mikrotremor adalah alam. Gelombang laut menimbulkan *ambient vibration* dengan frekuensi sekitar 0,2 Hz sedangkan frekuensi sekitar 0,5 Hz dihasilkan oleh interaksi antara gelombang laut dan pantai. Untuk frekuensi di bawah 0,1 Hz, mikrotremor diasosiasikan dengan aktifitas di atmosfer. Frekuensi tinggi, lebih dari 1 Hz bisa ditimbulkan oleh angin dan aliran air. Pada frekuensi tinggi yaitu lebih dari 1 Hz, sumber utamanya adalah aktivitas manusia seperti lalu lintas kendaraan, mesin dan lain-lain. Lokasi sumber biasanya berada di permukaan tanah dan bervariasi dengan adanya siang dan malam (SESAME, 2004).

6. HVSR (*Horizontal to Vertical Spectra Ratio*)

Teknik HVSR merupakan teknik sederhana yang dapat menggambarkan karakteristik dinamis tanah maupun struktur. Rasio spektral dari H/V merupakan estimasi rasio antara spektrum amplitudo komponen horizontal dan vertikal dari suatu getaran. Spektrum H/V akan menunjukkan frekuensi predominan (f_0) dan nilai puncak HVSR. Teknik pengolahan gelombang mikrotremor ini dipopulerkan oleh Nakamura (1989).

Nakamura (1989) mengembangkan konsep bahwa amplitudo dan frekuensi puncak HVSR merepresentasikan amplifikasi dan frekuensi lokasi (*site*) setempat. *Site effect* terjadi akibat keberadaan lapisan tanah lunak yang menempati setengah cekungan dari batuan dasar. Dalam kondisi ini terdapat empat komponen gerakan yang terlibat, yaitu komponen gerak horizontal dan vertikal di batuan dasar dan komponen gerak horizontal dan vertikal di permukaan. Faktor amplifikasi dari gerakan horizontal dan vertikal di permukaan tanah sedimen berdasarkan pada gerakan seismik di permukaan tanah yang bersentuhan langsung dengan batuan dasar di area cekungan dilambangkan dengan T_H dan T_V (Nakamura, 2000).

Site effect (T_{SITE}) pada permukaan lapisan sedimen, biasanya digambarkan dengan cara membandingkan faktor amplifikasi dari gerakan horizontal dan vertikal pada permukaan tanah sedimen (Daryono *et. al.*, 2009).

$$T_{SITE} = \frac{T_H}{T_V} \quad (5)$$

Besarnya faktor amplifikasi horizontal T_H adalah:

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (6)$$

dengan S_{HS} adalah spektrum sinyal dari komponen horizontal di permukaan tanah, dan S_{HB} adalah spektrum dari komponen horizontal pada dasar lapisan tanah.

Besarnya faktor amplifikasi vertikal T_V adalah:

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (7)$$

dengan S_{VS} adalah spektrum dari komponen gerak vertikal di permukaan tanah, dan S_{VB} adalah spektrum dari komponen gerak vertikal pada dasar lapisan tanah.

Gelombang Rayleigh mendominasi data mikrotremor dibanding beberapa jenis gelombang yang lain. Pengaruh gelombang Rayleigh pada rekaman mikrotremor memiliki besar yang sama untuk komponen vertikal dan horizontal saat rentang frekuensi 0,2 – 20,0 Hz, sehingga rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati satu.

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} \approx 1 \quad (8)$$

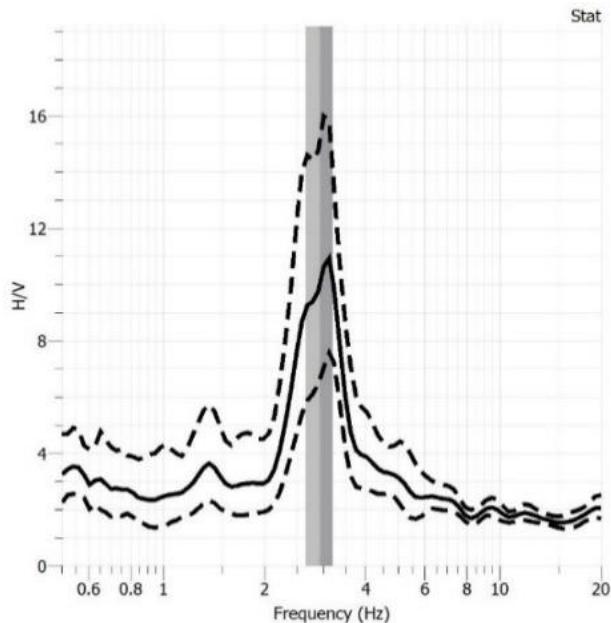
apabila dibulatkan menjadi:

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} = 1 \text{ atau } \frac{S_{VB}}{S_{HB}} = 1 \quad (9)$$

karena rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati nilai satu, maka persamaan tersebut menjadi dasar perhitungan rasio spektrum mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya, sehingga dapat dinyatakan dengan persamaan (10).

$$HVSR = \frac{\sqrt{\left(A_{(U-S)}(f)\right)^2 + \left(A_{(B-T)}(f)\right)^2}}{A_{(V)}(f)} \quad (10)$$

dengan $A_{(U-S)}(f)$ adalah nilai amplitudo spektrum frekuensi komponen utara-selatan, $A_{(B-T)}(f)$ adalah nilai amplitudo spektrum frekuensi komponen barat-timur, dan $A_{(V)}(f)$ adalah amplitudo spektrum frekuensi komponen vertikal. Hasil pengolahan HVSR berupa kurva HVSR seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil pengolahan HVSR pada kurva HVSR di titik pengukuran TA 25.

7. Frekuensi Predominan dan Periode Predominan

Frekuensi predominan (f_0) merupakan nilai frekuensi yang kerap muncul atau diakui sebagai nilai frekuensi dominan dari lapisan batuan wilayah tersebut, sehingga nilai frekuensi predominan dapat menunjukkan jenis dan karakteristik batuan tersebut. Lachet dan Brad (1994) melakukan uji simulasi dengan menggunakan enam model struktur geologi sederhana dengan kombinasi variasi kontras kecepatan gelombang geser dan ketebalan lapisan tanah. Hasil simulasi menunjukkan puncak nilai frekuensi predominan berubah terhadap variasi kondisi geologi seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Klasifikasi Tanah berdasarkan frekuensi predominan tanah oleh Kanai (BMKG, 1998).

Klasifikasi Tanah	Frekuensi Predominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Jenis I	6,667 – 20	Batuhan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan pasir berkerikil keras (<i>hard sandy gravel</i>) Batuan alluvial dengan ketebalan 5 meter.	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras.
Jenis II	4 – 6,67	Terdiri dari pasir berkerikil (<i>sandy hard clay</i>), tanah liat, lempung (<i>loam</i>) dan sebagainya.	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah yaitu 5-10 meter.
Jenis III	2,5 – 4	Batuhan alluvial yang hampir sama dengan tanah jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi yang belum diketahui (<i>buff formation</i>).	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori tebal, yaitu sekitar 10-30 meter.
Jenis IV	< 2,5	Batuhan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpur, tanah lunak, dan lain-lain yang tergolong dalam tanah lembek dengan kedalaman 30 meter.	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tebal.

Setiap benda memiliki frekuensi predominan yang besarnya tergantung dari komposisi, ukuran dan bentuknya. Jika frekuensi predominan suatu benda sama dengan frekuensi predominan sumber gelombang lain maka akan terjadi resonansi atau penguatan amplitudo gelombang, dan benda dikatakan resonan terhadap frekuensi predominan sumber gelombang (Sears dan Zemansky, 1994).

Hubungan antara nilai frekuensi predominan dengan ketebalan sedimen dinyatakan oleh Bard (2000) dalam persamaan (11)

$$f_0 = \frac{V_s}{4h} \quad (11)$$

dengan f_0 adalah frekuensi predominan (Hz), V_s adalah kecepatan gelombang geser (m/s), dan h adalah ketebalan lapisan sedimen (m).

Periode predominan (T_g) merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi nilai percepatan getaran tanah maksimum. Periode predominan yang tinggi menunjukkan sedimen lunak yang tebal dan sebaliknya periode predominan yang rendah menunjukkan sedimen lunak yang tipis. Daerah yang memiliki periode predominan tinggi umumnya memiliki kerentanan untuk mengalami kerusakan wilayah yang cukup tinggi jika terlanda gempa bumi. Hal ini dikarenakan periode predominan berbanding lurus dengan nilai penguatan goncangan atau amplifikasi. Nilai periode predominan didapatkan berdasarkan persamaan (12)

$$T_g = \frac{1}{f_0} \quad (12)$$

dengan T_g adalah periode predominan (s), dan f_0 adalah frekuensi predominan (Hz).

8. Faktor Amplifikasi

Faktor amplifikasi (A_0) adalah perbandingan percepatan maksimum gempa bumi di permukaan tanah dengan batuan dasar. Kandungan frekuensi dan amplitudo gelombang gempa bumi yang menjalar dari batuan dasar ke permukaan bumi akan berubah saat melewati endapan tanah. Proses ini dapat menghasilkan percepatan yang besar terhadap struktur dan menimbulkan kerusakan yang parah,

terutama saat frekuensi gelombang seismik sama dengan frekuensi struktur bangunan buatan manusia (Bard, 1999).

Nilai faktor amplifikasi suatu tempat dapat diketahui dari tinggi puncak spektrum amplitudo HVSR hasil pengukuran mikrotremor di tempat tersebut. Beberapa peneliti telah menemukan adanya korelasi antara puncak spektrum H/V dengan distribusi kerusakan struktur bangunan akibat gempa dan intensitas goncangan tanah selama gempa yang secara signifikan dipengaruhi oleh kondisi geologi dan kondisi tanah setempat. Batuan sedimen yang lunak diketahui memperkuat gerakan tanah selama gempa dan karena itu rata-rata kerusakan yang dihasilkan lebih parah daripada lapisan keras (Nakamura, 2000).

Daya penguatan goncangan tanah (faktor amplifikasi) adalah respon lapisan batuan, dalam hal ini adalah lapisan permukaan, terhadap gelombang (gempa bumi). Faktor amplifikasi menggambarkan besarnya penguatan gelombang pada saat melalui medium tertentu. Penguatan gelombang pada saat melalui suatu medium berbanding lurus dengan perbandingan antara spektrum horizontal terhadap spektrum vertikal.

Terdapat dua sebab terjadinya faktor amplifikasi gelombang gempa yang terjebak di lapisan lunak, sehingga gelombang tersebut terjadi superposisi antar gelombang. Pertama, jika gelombang tersebut mempunyai frekuensi predominan yang relatif sama, maka terjadi proses resonansi gelombang gempa. Akibat proses resonansi ini, gelombang tersebut saling menguatkan. Kedua, adanya kesamaan frekuensi alami antara geologi setempat dengan bangunan dan tanah setempat. Akibatnya, getaran tanah pada bangunan lebih kuat. Berdasarkan pengertian

tersebut, maka amplifikasi dapat dituliskan sebagai suatu fungsi perbandingan nilai kontras impedansi (Nakamura, 2000).

$$A_0 = \frac{\rho_b v_b}{\rho_s v_s} \quad (13)$$

dengan A_0 adalah faktor amplifikasi, ρ_b adalah densitas batuan dasar (g/ml), ρ_s adalah rapat massa dari batuan lunak (g/ml), v_b adalah kecepatan rambat gelombang di batuan dasar (m/s), dan v_s adalah kecepatan rambat gelombang di batuan lunak (m/s).

9. Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA)

Percepatan getaran tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) adalah nilai percepatan getaran tanah terbesar yang pernah terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gelombang gempa bumi. Percepatan getaran tanah maksimum yang terjadi pada suatu titik tertentu dalam suatu kawasan dihitung dari semua gempa bumi yang terjadi pada kurun waktu tertentu dengan memperhatikan besar magnitudo dan jarak hiposenternya, serta periode predominan tanah dimana titik tersebut berada (Kirbani, 2012).

Metode Kanai merupakan salah satu metode pendekatan empiris yang dapat digunakan untuk menghitung nilai percepatan getaran tanah maksimum. Metode ini memperhitungkan input parameter gempa bumi seperti episenter, kedalaman dan magnitudo, serta periode predominan tanah sebagai input parameter hasil analisis mikrotremor. Rumus empiris untuk menghitung nilai percepatan getaran tanah maksimum menggunakan metode Kanai (1966) ditunjukkan oleh persamaan (14) (Douglas, 2011).

$$a_g = \frac{a_1}{\sqrt{T_g}} 10^{a_2 M - P \log R + Q} \quad (14)$$

dengan

$$P = a_3 + \frac{a_4}{R} \quad (15)$$

dan

$$Q = a_5 + \frac{a_6}{R} \quad (16)$$

dengan a_g adalah percepatan tanah di titik pengukuran (cm/s^2), T_g adalah periode predominan tanah (s), M adalah magnitudo gempa bumi dalam skala Richter, R adalah jarak hiposenter (km), dan dengan konstanta-konstanta $a_1 = 5$; $a_2 = 0,61$; $a_3 = 1,66$; $a_4 = 3,60$; $a_5 = 0,167$; dan $a_6 = -1,83$.

10. Mikrozonasi

Mikrozonasi adalah upaya untuk mengevaluasi dan memetakan potensi bencana di suatu daerah, khususnya daerah perkotaan, yang pada umumnya disebabkan oleh getaran tanah yang kuat selama gempa bumi. Bencana ini meliputi: amplifikasi gerakan tanah, likuifaksi dan potensi tanah longsor.

Peta mikrozonasi dapat digunakan untuk menggambarkan potensi terjadinya bencana alam. Peta potensi tanah longsor juga dapat dibuat jika pergerakan tanah batuan dasar diketahui dengan menggunakan beberapa *software*. Salah satu *software* yang dapat digunakan untuk membuat peta mikrozonasi yaitu *Surfer 12*.

11. Daerah Penelitian

Daerah penelitian terletak di Desa Purwosari yang merupakan salah satu desa yang terdapat di Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa

Yogyakarta. Desa Purwosari terletak sekitar 22 km dari Pusat Pemerintahan Kabupaten Kulon Progo dan berjarak sekitar 12 km dari Pusat Pemerintahan Kecamatan Girimulyo. Luas wilayah Desa Purwosari adalah 13,65 km², dengan jumlah penduduk sebanyak 4.446 jiwa yang dibagi menjadi 1.335 kepala keluarga (BPS Kulon Progo, 2017).

Secara administratif Desa Purwosari terdiri atas 52 RT, 26 RW, dan 13 dusun yaitu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9 (BPS Kulon Progo, 2017). Batas administrasi Desa Purwosari dengan desa di sekitarnya yaitu pada sebelah utara berbatasan dengan Desa Kebonharjo dan Desa Banjarsari Kecamatan Samigaluh, sebelah timur berbatasan dengan Desa Pendoworejo Kecamatan Girimulyo, sebelah selatan berbatasan dengan Desa Giripurwo dan Desa Jatimulyo Kecamatan Girimulyo, sedangkan sebelah barat berbatasan dengan Kabupaten Purworejo.



Gambar 9. Peta Administrasi Desa Purwosari (BPS Kulon Progo, 2017).

12. Geologi Daerah Penelitian

Pada peta geologi lembar Yogyakarta, Kecamatan Girimulyo khususnya Desa Purwosari merupakan wilayah yang terdiri atas dua formasi batuan. Kedua formasi batuan tersebut yaitu Formasi Kebo Butak dan Formasi Jonggrang.

a. Formasi Kebo Butak

Formasi Kebo Butak merupakan formasi batuan yang diperkirakan berumur oligosen akhir hingga miosen awal. Susunan dari formasi ini terdiri dari breksi andesit, tuf, tuf lapili, aglomerat, dan sisipan aliran lava andesit. Formasi ini memiliki ketebalan sekitar 500 meter (Rahardjo *et al.*, 1995).

b. Formasi Jonggrang

Formasi Jonggrang merupakan formasi batuan yang berumur miosen awal hingga miosen tengah dan terletak di atas formasi Andesit Tua. Batuan penyusun formasi ini berupa konglomerat, napal tufan dan batu pasir gampingan dengan sisipan lignit, batu gamping berlapis serta batu gamping koral. Formasi ini memiliki ketebalan sekitar 250 meter (Bammelen, 1949).

B. Kerangka Berpikir

Data yang diperoleh dari penelitian di Desa Purwosari merupakan data mentah berupa sinyal mikrotremor. Sinyal mikrotremor memiliki 2 komponen yaitu komponen vertikal dan horizontal, sedangkan komponen horizontal terdiri dari horizontal utara-selatan dan barat-timur. Dipilih data mikrotremor yang tidak mengandung *noise* dengan *Sessary Geopsy*. Pemilihan sinyal tanpa *noise* (*windowing*) dilakukan dengan *cut* gelombang. Selanjutnya data dianalisis dengan

metode HVSR. Dari analisis HVSR akan diperoleh kurva HVSR yang menunjukkan nilai frekuensi predominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0).

Dalam menentukan nilai percepatan tanah maksimum digunakan metode Kanai (1966) dengan menggunakan persamaan (14) untuk *event* gempa Yogyakarta 27 Mei 2006 yang berkekuatan 5,9 skala Richter. Pada metode Kanai (1966) perlu ditentukan episenter, kedalaman dan magnitudo, serta periode predominan tanah sebagai input parameter hasil analisis mikrotremor. Untuk mikrozonasi berdasarkan nilai percepatan tanah maksimum digunakan *Surfer 12*.

Mikrozonasi nilai percepatan tanah maksimum selanjutnya dioverlay dengan peta kemiringan lereng, dan *history* kejadian tanah longsor di Desa Purwosari. Peta kemiringan lereng dibuat menggunakan data topografi hasil pengolahan menggunakan *Google Earth*, sedangkan *history* kejadian tanah longsor menggunakan data induk kebencanaan Kabupaten Kulon Progo dari tahun 2008 sampai dengan tahun 2016.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan data berupa pengukuran sinyal mikrotremor yang dilaksanakan pada 29 – 30 September 2017 dan 2 – 3 Oktober 2017. Sebelum dilakukan pengambilan data, telah dilakukan studi literatur, diskusi, dan survei di lokasi penelitian yang dimulai pada Mei 2017. Pengukuran sinyal mikrotremor dilakukan secara langsung di Desa Purwosari, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta sebanyak 35 titik penelitian.

B. Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat keras dan perangkat lunak.

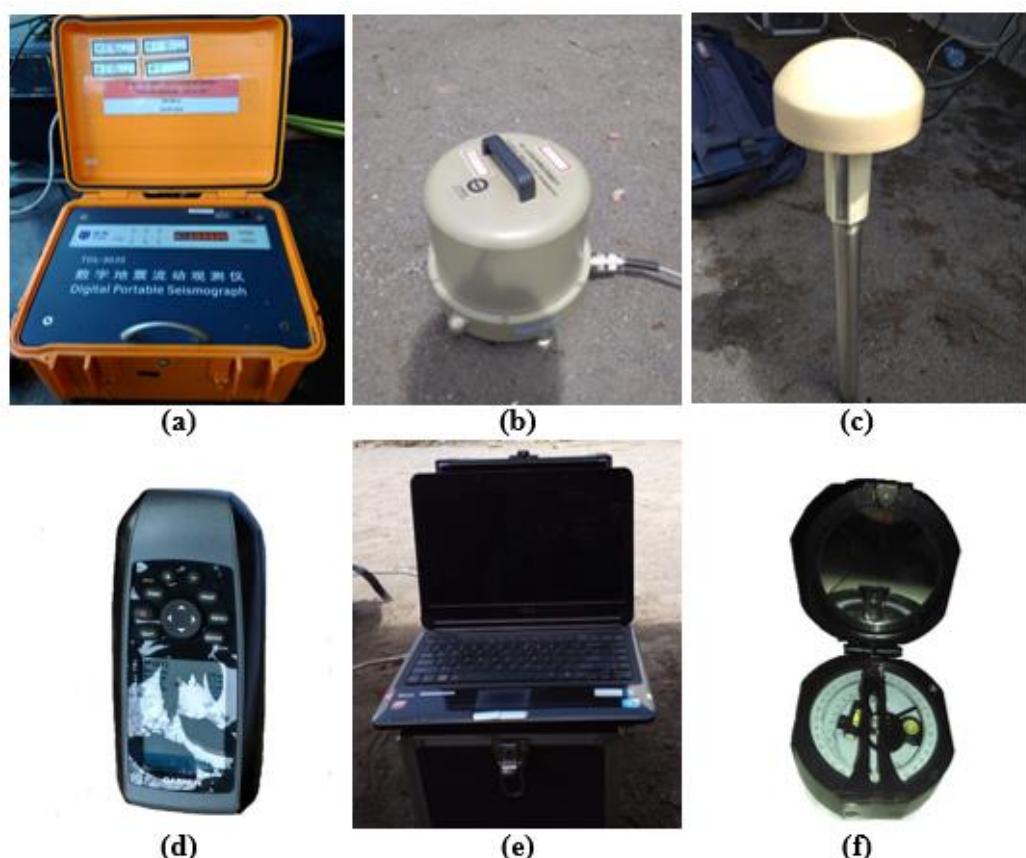
1. Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. *Digital Portable Seismograph* merek Taide tipe TDL-303S yang digunakan untuk merekam sinyal getaran tanah pada setiap titik penelitian.
- b. Seismometer merek Taide tipe TDV-23S yang digunakan untuk mengukur getaran tanah pada setiap titik penelitian.
- c. Antena GPS yang digunakan untuk menentukan posisi pada setiap titik penelitian.
- d. *Global Positioning System (GPS)* merk Garmin tipe 78S yang digunakan untuk menentukan posisi pada setiap titik penelitian, dan untuk menandai koordinat lokasi.

- e. Laptop yang digunakan untuk akuisisi dan analisis data.
- f. Kompas yang digunakan untuk menentukan arah utara saat pemasangan seismometer.
- g. Kabel yang digunakan untuk menghubungkan *digitizer* dengan seismometer.
- h. Lembar *check list* survei mikrotremor.

Perangkat keras yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Perangkat Keras Pengukuran Mikrotremor, (a) *Digital Portable Seismograph*, (b) Seismometer, (c) Antena GPS, (d) GPS, (e) Laptop, (f) Kompas.

2. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. *Global Mapper 13* yang digunakan untuk *register* peta, memasukkan titik koordinat penelitian ke GPS, mengubah format JPEG atau PNG menjadi KMZ atau TIFF.
- b. *Surfer 12* yang digunakan untuk membuat peta desain penelitian dan membuat peta mikrozonasi.
- c. *Google Earth* yang digunakan untuk memperkirakan kondisi lokasi penelitian dan menentukan titik pengambilan data sekaligus membuat desain survei.
- d. *Sesarray Geopsy* yang digunakan untuk memilih sinyal tanpa *noise* dari data mikrotremor dengan proses *windowing* dan *cutting*.
- e. *Dinver* yang digunakan untuk menganalisis nilai kecepatan gelombang geser (V_s).
- f. *TCX Converter* yang digunakan untuk mengubah dari format .KML menjadi .CSV serta mendapatkan data topografi.
- g. *Microsoft Excel* yang digunakan untuk mengolah data.
- h. *Microsoft Word 2013* yang digunakan untuk menyusun draft skripsi.
- i. *DATAPRO* yang digunakan untuk mengubah dari format .trc menjadi .MSD.
- j. *ArcGIS 10.4.1* yang digunakan untuk membuat peta kemiringan lereng.
- k. *Rockwork 16* yang digunakan untuk pemodelan 3D distribusi nilai faktor amplifikasi.

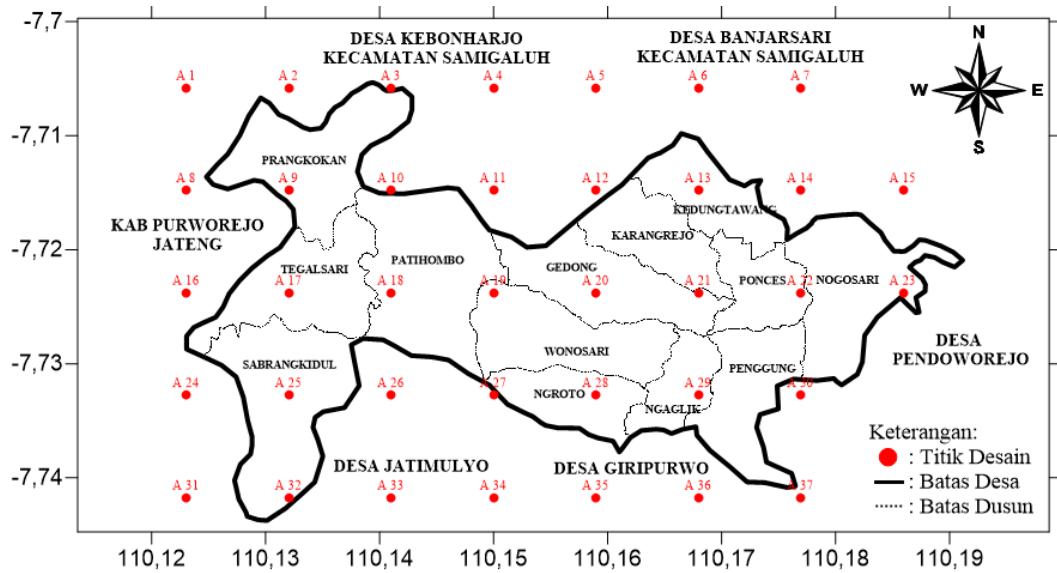
C. Teknik Pengambilan Data

Proses pengambilan data terbagi dalam dua tahap yaitu tahap desain survei dan tahap pengambilan data.

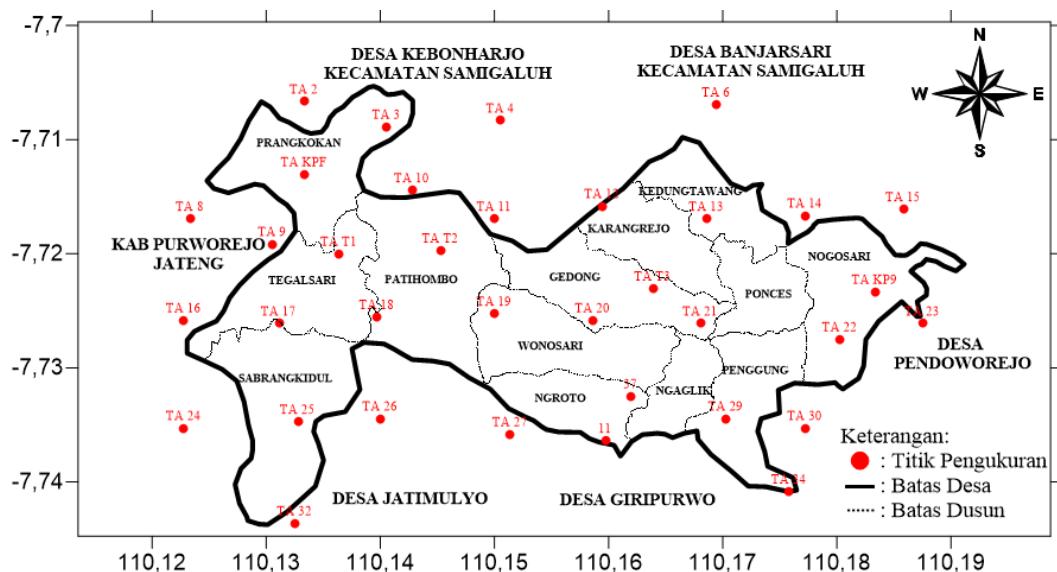
1. Tahap Desain Survei

Pembuatan desain survei bertujuan untuk menentukan titik lokasi pengukuran sinyal mikrotremor. Desain survei dilakukan dengan menggunakan *Surfer 12* sebanyak 37 titik dengan jarak antar titik 1 km seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Desain survei bertujuan supaya pengambilan data dapat mencakup daerah penelitian yaitu Desa Purwosari Kecamatan Girimulyo Kabupaten Kulon Progo. Kemudian desain survei ditampilkan pada *Google Earth* untuk mengetahui kondisi titik lokasi penelitian sebelum survei lokasi.

Survei lokasi penelitian dilakukan untuk mengetahui medan yang akan dilalui dan kondisi secara langsung lokasi yang akan dijadikan titik pengukuran sinyal mikrotremor. Selain mengacu pada desain survei, penentuan lokasi dan pengukuran juga mempertimbangkan beberapa persyaratan teknis yang ditunjukkan pada Tabel 6. Berdasarkan hasil survei titik lokasi secara langsung dan dengan mengacu pada Tabel 6, didapatkan total 35 titik yang dapat dijadikan lokasi penelitian. Adapun rinciannya adalah 28 titik dari desain survei dan 7 titik tambahan, sedangkan 9 titik dihilangkan karena lokasinya tidak memungkinkan untuk dicapai dan berada di luar daerah penelitian. Titik penelitian mengalami sedikit pergeseran dari titik lokasi pada desain survei yang sudah ditentukan. Hal ini dikarenakan lokasi yang berada di tengah sawah, bangunan rumah warga, perbukitan yang susah dijangkau, dan adanya sumber getar atau dekat sarana umum. Peta lokasi untuk pengambilan data hasil survei lapangan ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 11. Desain Survei Penelitian di Desa Purwosari.



Gambar 12. Peta Titik Pengukuran Sinyal Mikrotremor di Desa Purwosari.

Tabel 6. Persyaratan Teknis Survei Mikrotremor di Lapangan (SESAME, 2004).

Jenis Parameter	Saran yang dianjurkan	
Durasi Pencatatan	fg minimum yang diharapkan (Hz)	Durasi pencatatan minimum yang disarankan (menit)
	0,2	30
	0,5	20
	1	10
	2	5
	5	3
	10	2
<i>Coupling soil-sensor</i> alami (insitu)	<ol style="list-style-type: none"> Tempatkan sensor langsung pada permukaan tanah Hindari menempatkan sensor seismograf pada permukaan tanah lunak (lumpur, semak-semak) atau tanah lunak setelah hujan. 	
<i>Coupling soil-sensor</i> buatan atau artifisial	<ol style="list-style-type: none"> Hindari lempengan yang terbuat dari material lunak seperti karet atau busa. Pada kemiringan yang curam di mana sulit mendapatkan kedataran sensor yang baik, pasang sensor dalam timbunan pasir atau wadah yang diisi pasir. 	
Keberadaan bangunan atau pohon	<ol style="list-style-type: none"> Hindari pengukuran dekat dengan bangunan, gedung bertingkat, dan pohon yang tinggi, jika tiupan angin di atas ± 5 m/detik. Kondisi ini sangat mempengaruhi hasil analisa HVSR yang ditunjukkan dengan kemunculan frekuensi rendah pada kurva. Hindari pengukuran di lokasi tempat parkiran, pipa air dan gorong-gorong. 	
Kondisi Cuaca	<ol style="list-style-type: none"> Angin: Lindungi sensor dari angin (lebih cepat dari 5 m/s). Hujan: Hindari pengukuran pada saat hujan lebat. Hujan ringan tidak memberikan gangguan berarti. Suhu: Mengecek kondisi sensor dan mengikuti instruksi pabrik. 	
Gangguan	<ol style="list-style-type: none"> Sumber monokromatik: hindari pengukuran mikrotremor dekat dengan mesin, industri, pompa air, generator yang sedang beroperasi. Sumber sementara: jika terdapat sumber getar <i>transient</i> (jejak langkah kaki, mobil lewat, motor lewat) tingkatkan durasi pengukuran untuk memberikan jendela yang cukup untuk analisis setelah gangguan tersebut hilang. 	

2. Tahap Pengambilan Data

Pengukuran sinyal mikrotremor dilakukan dengan frekuensi *sampling* 100 Hz selama \pm 30 menit dengan mengacu pada durasi pengukuran yang disarankan oleh SESAME (2004). Hasil dari pengukuran tersebut berupa data mentah sinyal getaran mikrotremor dalam fungsi waktu. Sinyal getaran ini terdiri dari 2 komponen, yaitu komponen horizontal dan komponen vertikal. Komponen horizontal terdiri dari sinyal *North-South* dan sinyal *East-West*, sedangkan komponen vertikal merupakan sinyal getaran *Up and Down*. Data-data yang diperoleh tersimpan secara otomatis di dalam *datalogger (digitizer)*, data tersebut dapat secara langsung ditampilkan pada laptop dengan menggunakan *Monost*.

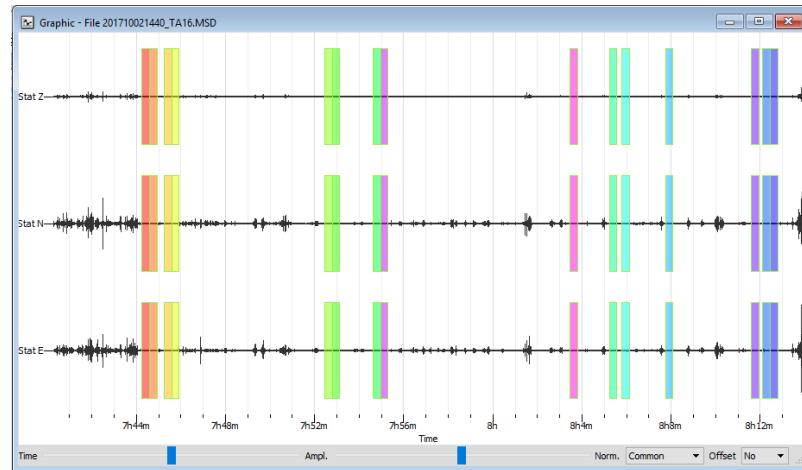
D. Teknik Analisis Data

Langkah kerja analisis data penelitian ini adalah:

1. Menganalisis sinyal mentah mikrotremor

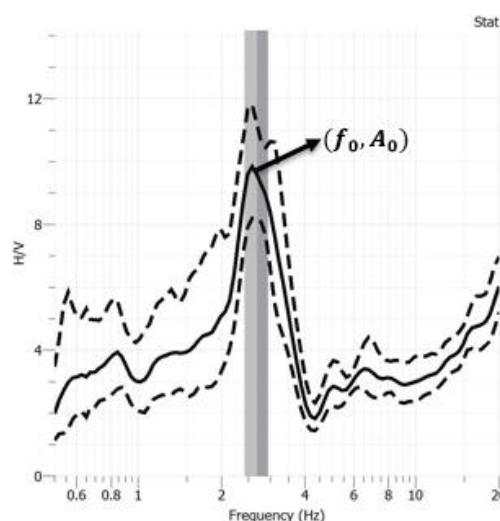
Data hasil pengukuran berupa data mentah getaran tanah dalam fungsi waktu. Terdapat dua komponen sinyal mikrotremor, yaitu komponen horizontal dan komponen vertikal. Pemilihan sinyal mikrotremor menggunakan *Sesarray Geopsy* dengan melakukan *windowing* dan *cutting* gelombang. Pemilihan *window* dilakukan secara manual dengan panjang window 20 detik. Sinyal yang sudah dipilih kemudian digabung dan diubah ke dalam bentuk .xls dengan menggunakan *Command Prompt*. Pemilihan sinyal pada titik TA 16 ditunjukkan pada Gambar 13. Setelah proses pemilihan sinyal mikrotremor pada setiap titik pengamatan diperoleh hasil bahwa jumlah *window* di setiap titik pengamatan telah memenuhi syarat yang

ditetapkan oleh SESAME *European Research Project* (2004) yaitu jumlah *window* minimum yang diperbolehkan sebanyak 10 *window*.



Gambar 13. Contoh Pemilihan Sinyal pada Titik TA 16.

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan metode HVSR, proses penghalusan data dilakukan dengan metode Konno-Ohmachi dengan konstanta *smoothing* 40. Dari analisis HVSR akan diperoleh kurva HVSR yang menunjukkan nilai frekuensi predominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) seperti terlihat pada Gambar 14. Langkah selanjutnya yaitu membuat mikrozonasi frekuensi predominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) menggunakan *Surfer 12*.



Gambar 14. Kurva HVSR pada Titik TA 16.

Kurva HVSR harus memiliki kriteria reliabilitas yang mengacu pada standar yang dibuat oleh SESAME *European Research Project*. Terdapat tiga kriteria reliabilitas kurva HVSR.

- a. Jika *peak* dari kurva H/V terlihat jelas, nilai frekuensi predominan (f_0) harus lebih dari $10/l_w$, dengan l_w adalah panjang *window* yaitu sebesar 20 detik.
- b. Nilai dari *number of cycles* (n_c) harus lebih besar dari 200, dimana $n_c = l_w n_w f_0$, dengan n_w adalah jumlah *window*.
- c. Nilai standar deviasi yang tinggi dari *peak* kurva H/V biasanya diakibatkan oleh adanya gangguan pada saat pengukuran. Oleh sebab itu, dipastikan nilai standar deviasi σ_A harus lebih kecil dari 2 (untuk $2f_0 > 0,5$ Hz) dan 3 (untuk $2f_0 < 0,5$ Hz) dalam batas frekuensi $0,5f_0$ sampai $2f_0$.

Untuk kriteria *clear peak* terdiri dari enam kriteria yaitu:

- a. Terdapat satu frekuensi (f^-) dengan nilai antara $\frac{f_0}{4} - f_0$ yang memiliki nilai $A_{H/V} < \frac{1}{2}A_0$.
- b. Terdapat satu frekuensi (f^+) dengan nilai antara $f_0 - 4f_0$ yang memiliki nilai $A_{H/V} < \frac{1}{2}A_0$.
- c. Nilai faktor amplifikasi lebih besar dari 2 ($A_0 > 2$).
- d. *Peak* dari kurva standar deviasi harus berada pada frekuensi yang sama atau masih dalam batas toleransi 5%.
- e. Nilai standar deviasi (σ_f) harus lebih rendah dari batas ambang nilai *threshold* $\varepsilon(f_0)$. Nilai *threshold* ditunjukkan pada Tabel 7.
- f. Nilai $\sigma_A(f_0)$ harus lebih rendah dari batas ambang nilai $\theta(f_0)$.

Tabel 7. Nilai *threshold* untuk keadaan stabil (SESAME, 2004).

<i>Frequency range (Hz)</i>	$< 0,2$	$0,2 - 0,5$	$0,5 - 1,0$	$1,0 - 2,0$	> 2
$\varepsilon(f_0)$	$0,25f$	$0,20f$	$0,15f$	$0,10f$	$0,05f$
$\theta(f_0) \text{ for } \sigma_A(f_0)$	3,0	2,5	2,0	1,78	1,58
$\log\theta(f_0) \text{ for } \sigma_{\log H/V}(f_0)$	0,48	0,40	0,30	0,25	0,20

2. Menganalisis percepatan getaran tanah maksimum (PGA)

Percepatan getaran tanah maksimum atau *peak ground acceleration* (PGA) dianalisis dengan menggunakan metode Kanai (1966) sesuai persamaan (14) dengan input berupa nilai periode predominan tanah, episenter, kedalaman dan magnitudo. Periode predominan (T_g) di setiap titik diperoleh dari nilai frekuensi predominan (f_0) sesuai persamaan (13). Jarak episenter, kedalaman, dan magnitudo gempa bumi menggunakan data kejadian gempa bumi di Yogyakarta pada 27 Mei 2006. Menurut BMKG, gempa bumi Yogyakarta 27 Mei 2006 yang berasal dari episenter di $8,03^\circ \text{ LS}$ dan $110,32^\circ \text{ BT}$ ini terjadi pada kedalaman 12 km dengan magnitudo 5,9 skala Richter (BMKG, 2018).

Nilai percepatan getaran tanah maksimum setiap titik penelitian dapat diperoleh dengan memasukkan parameter-parameter ke dalam persamaan (14). Untuk memudahkan dalam proses analisis, nilai percepatan getaran tanah maksimum setiap titik penelitian diklasifikasikan. Adapun klasifikasi nilai percepatan getaran tanah maksimum berdasarkan Skala Intensitas Gempa bumi BMKG (Tabel 4). Berdasarkan penelitian ini, rentang nilai PGA di Desa Purwosari adalah $32,97 - 185,17 \text{ cm/s}^2$ sehingga klasifikasi nilai PGA seperti pada Tabel 8. Langkah selanjutnya yaitu membuat mikrozonasi percepatan getaran tanah maksimum menggunakan *ArcGis 10.4.1*.

Tabel 8. Klasifikasi nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA).

Kelas	PGA (cm/s ²)	Klasifikasi
I	< 89	Rendah
II	89 – 167	Sedang
III	> 167	Tinggi

3. Membuat klasifikasi kemiringan lereng

Desa Purwosari terletak di wilayah bagian utara dari Kabupaten Kulon Progo yang merupakan dataran tinggi atau di dalam kawasan Perbukitan Menoreh. Desa Purwosari terletak pada ketinggian antara 200 – 800 meter di atas permukaan air laut. Untuk mendapatkan data ketinggian Desa Purwosari secara lebih detail dapat dilakukan dengan survei ke Desa Purwosari dengan menggunakan GPS. Selain dengan survei, data ketinggian Desa Purwosari bisa didapatkan dengan membuat jalur atau lintasan yang menutupi Desa Purwosari menggunakan *Google Earth*. Data yang didapatkan dari *Google Earth* masih dalam format .KML. Data format .KML dapat diubah ke dalam format .CSV dengan menggunakan *TCX Converter*. Data ketinggian tersebut selanjutnya yang digunakan dalam menentukan kemiringan lereng di Desa Purwosari dengan menggunakan *ArcGis 10.4.1*. Adapun klasifikasi kemiringan lereng mengacu pada klasifikasi kemiringan lereng menurut Van Zuidam (1983) seperti pada Tabel 2.

4. Membuat klasifikasi kejadian tanah longsor

Menurut BPBD Kulon Progo (2017), Desa Purwosari tercatat telah terjadi tanah longsor sebanyak 163 kali sepanjang Tahun 2008 hingga Tahun 2016 yang tersebar pada 13 dusun. Dusun Ngroto merupakan dusun yang mempunyai kejadian

tanah longsor yang paling banyak yaitu 20 kali. Adapun rincian kejadian tanah longsor di Desa Purwosari seperti yang ditunjukkan Tabel 1.

Kejadian tanah longsor di Desa Purwosari dari tahun 2008 hingga tahun 2016 dapat diklasifikasikan, sehingga mempermudah dalam proses analisis. Adapun klasifikasi kejadian tanah longsor di Desa Purwosari seperti pada Tabel 9.

Tabel 9. Klasifikasi kejadian Tanah Longsor di Desa Purwosari.

Kelas	Jumlah Kejadian Tanah Longsor	Klasifikasi
I	< 9	Sangat rendah
II	9 – 11	Rendah
III	12 – 13	Sedang
IV	14 – 18	Tinggi
V	> 18	Sangat tinggi

5. Pemodelan 3D distribusi nilai faktor amplifikasi (A_0)

Data nilai faktor amplifikasi (A_0) yang didapatkan dari analisis HVSR kemudian digunakan untuk melakukan pemodelan menggunakan *Rockwork 16*. Nilai ketebalan atau kedalaman lapisan sedimen (h) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (11). Nilai frekuensi predominan (f_0) didapatkan dari analisis HVSR, sedangkan kecepatan gelombang geser (V_s) dapat diperoleh dari analisis menggunakan *Dinver*. Langkah selanjutnya yaitu memasukkan parameter-parameter ke dalam *Rockwork 16*. Adapun parameter yang dimaksud yaitu *longitude*, *latitude*, kedalaman atau ketebalan lapisan sedimen, dan nilai faktor amplifikasi (A_0) pada setiap titik penelitian. Model yang diperoleh akan mempermudah visualisasi persebaran nilai faktor amplifikasi (A_0). Pada model distribusi nilai faktor amplifikasi (A_0) selanjutnya dibuat sayatan-sayatan sesuai

titik kejadian tanah longsor sehingga dapat mempermudah dalam proses analisis kejadian tanah longsor di Desa Purwosari.

6. Peta Zonasi Rawan Tanah Longsor

Pada penelitian ini, peta zonasi rawan tanah longsor di Desa Purwosari dibuat berdasarkan 2 parameter. Parameter pertama adalah kemiringan lereng yang terdiri dari 5 kelas seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2, sedangkan parameter kedua adalah nilai PGA yang terdiri dari 3 kelas seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8.

Kedua parameter pada Tabel 2 dan Tabel 8 digabung menggunakan analisis skoring dan klasifikasi untuk menentukan zonasi rawan tanah longsor di Desa Purwosari. Metode skoring adalah suatu metode pemberian skor atau nilai terhadap masing-masing kelas parameter. Kelas I, II, III, IV, dan V mempunyai skor atau nilai berturut-turut 1, 2, 3, 4, dan 5. Penilaian ini berdasarkan kriteria yang telah ditentukan (Sholahuddin, 2015). Untuk menentukan kriteria tersebut terlebih dahulu ditentukan jarak interval untuk masing-masing kriteria. Dalam penelitian ini ditentukan 3 klasifikasi yang terdiri dari kategori zona risiko rendah, zona risiko sedang dan zona risiko tinggi. Rumus umum penentuan jarak interval kelas dinyatakan sebagai (Sholahuddin, 2015):

$$Jarak\ Interval\ (I) = \frac{Nilai\ Tertinggi\ -\ Nilai\ Terendah}{Jumlah\ Kategori} \quad (17)$$

Hasil perhitungan untuk jarak interval adalah sebagai berikut:

$$Jarak\ Interval\ (I) = \frac{8\ -\ 2}{3} = 2$$

Didapatkan nilai jarak interval yaitu 2. Untuk menentukan nilai kategori zona risiko sedang, dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Klasifikasi Zona Resiko Sedang} &= (\text{Nilai Terendah} + \text{Jarak Interval}) \\
 &\quad \text{sampai } (\text{Nilai Tertinggi} - \text{Jarak Interval}) \quad (18)
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan klasifikasi zona risiko sedang adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Klasifikasi Zona Resiko Sedang} &= (2 + 2) \text{ sampai } (8 - 2) \\
 &= 4 \text{ sampai } 6
 \end{aligned}$$

Didapatkan nilai untuk klasifikasi zona risiko sedang yaitu 4 – 6, untuk kategori zona risiko rendah di nilai < 4 dan kategori tinggi di nilai > 6 atau seperti yang ditunjukkan pada Tabel 10.

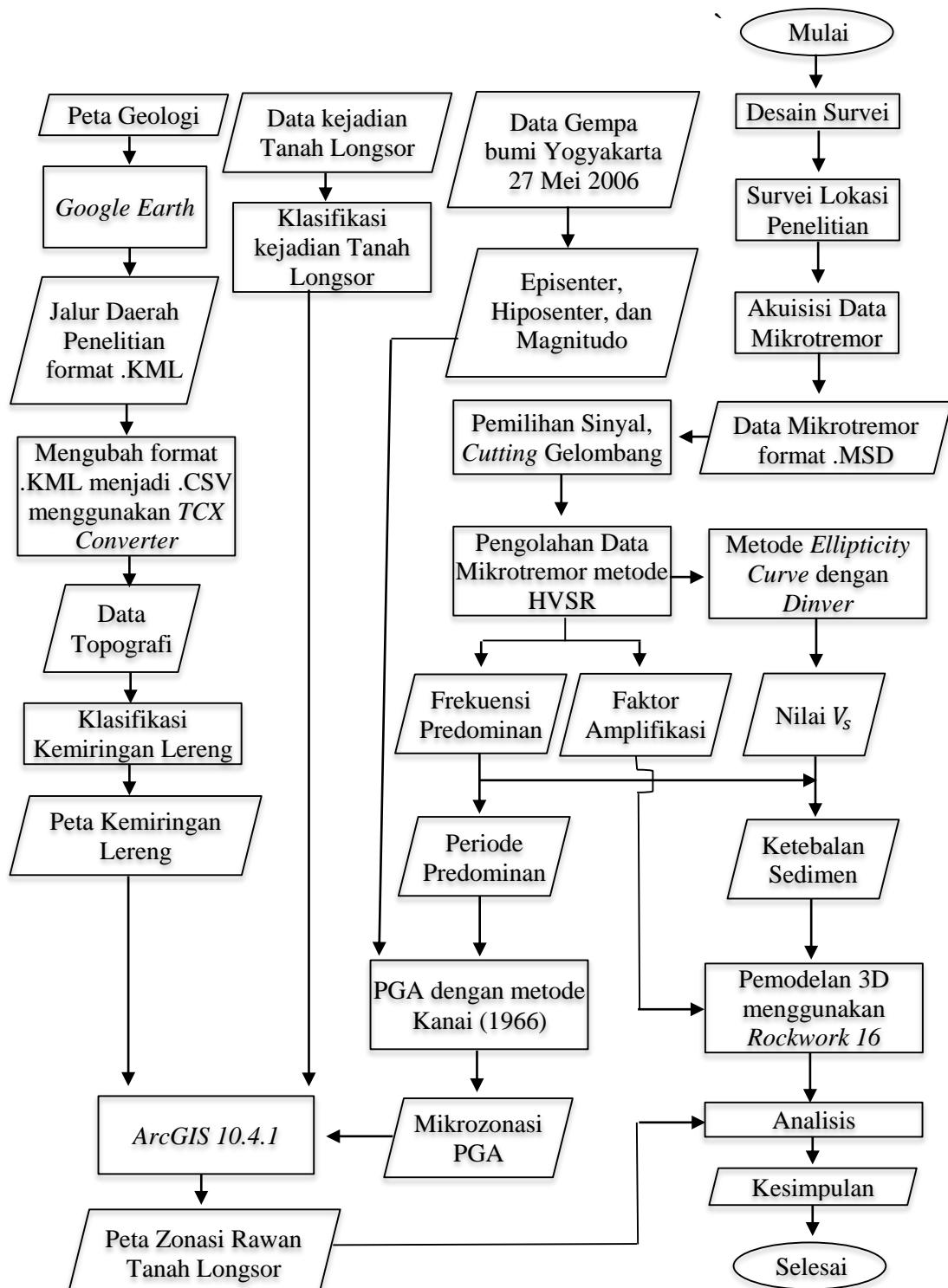
Tabel 10. Klasifikasi Zonasi Rawan Tanah Longsor di Desa Purwosari.

Kelas	Nilai atau Skor	Klasifikasi
I	< 4	Zona risiko rendah
II	4 – 6	Zona risiko sedang
III	> 6	Zona risiko tinggi

Setelah menggabungkan kedua parameter sehingga didapatkan hasil klasifikasi zonasi rawan tanah longsor di Desa Purwosari seperti pada Tabel 10, selanjutnya membuat peta zonasi rawan tanah longsor menggunakan *ArcGis 10.4.1*. Peta zonasi rawan tanah longsor selanjutnya di *overlay* dengan data kejadian tanah longsor di Desa Purwosari dari tahun 2008 hingga tahun 2016.

E. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Diagram Alir Penelitian.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah zonasi rawan tanah longsor di Desa Purwosari yang diperoleh berdasarkan kemiringan lereng dan nilai *peak ground acceleration* (PGA). Kemiringan lereng diperoleh dengan menggunakan data ketinggian di Desa Purwosari, sedangkan nilai PGA diperoleh dengan menggunakan metode Kanai (1966) berdasarkan kejadian gempa bumi Yogyakarta 27 Mei 2006 dan besarnya nilai PGA dipengaruhi oleh nilai periode predominan (T_g) daerah penelitian. Nilai periode predominan diperoleh berdasarkan nilai frekuensi predominan (f_0) yang didapatkan dari kurva HVSR. Pada penelitian ini, kurva HVSR diperoleh dari pengolahan data mikrotremor yang dianalisis menggunakan metode HVSR. Dari kurva HVSR diperoleh informasi frekuensi predominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) yang merepresentasikan karakteristik dinamis lapisan tanah di lokasi pengukuran. Frekuensi predominan (f_0) pada kurva HVSR ditunjukkan oleh nilai pada sumbu horizontal pada puncak kurva HVSR, sedangkan faktor amplifikasi (A_0) pada kurva HVSR ditunjukkan oleh nilai pada sumbu vertikal pada puncak kurva HVSR.

A. Frekuensi Predominan (f_0)

Frekuensi predominan (f_0) merupakan cerminan dari kondisi fisik tanah yaitu tebal atau tipisnya lapisan sedimen suatu daerah. Hubungan frekuensi predominan (f_0) dan ketebalan lapisan sedimen (h) dinyatakan oleh Bard (2000) dalam persamaan (11) yang menyatakan bahwa frekuensi predominan berbanding terbalik

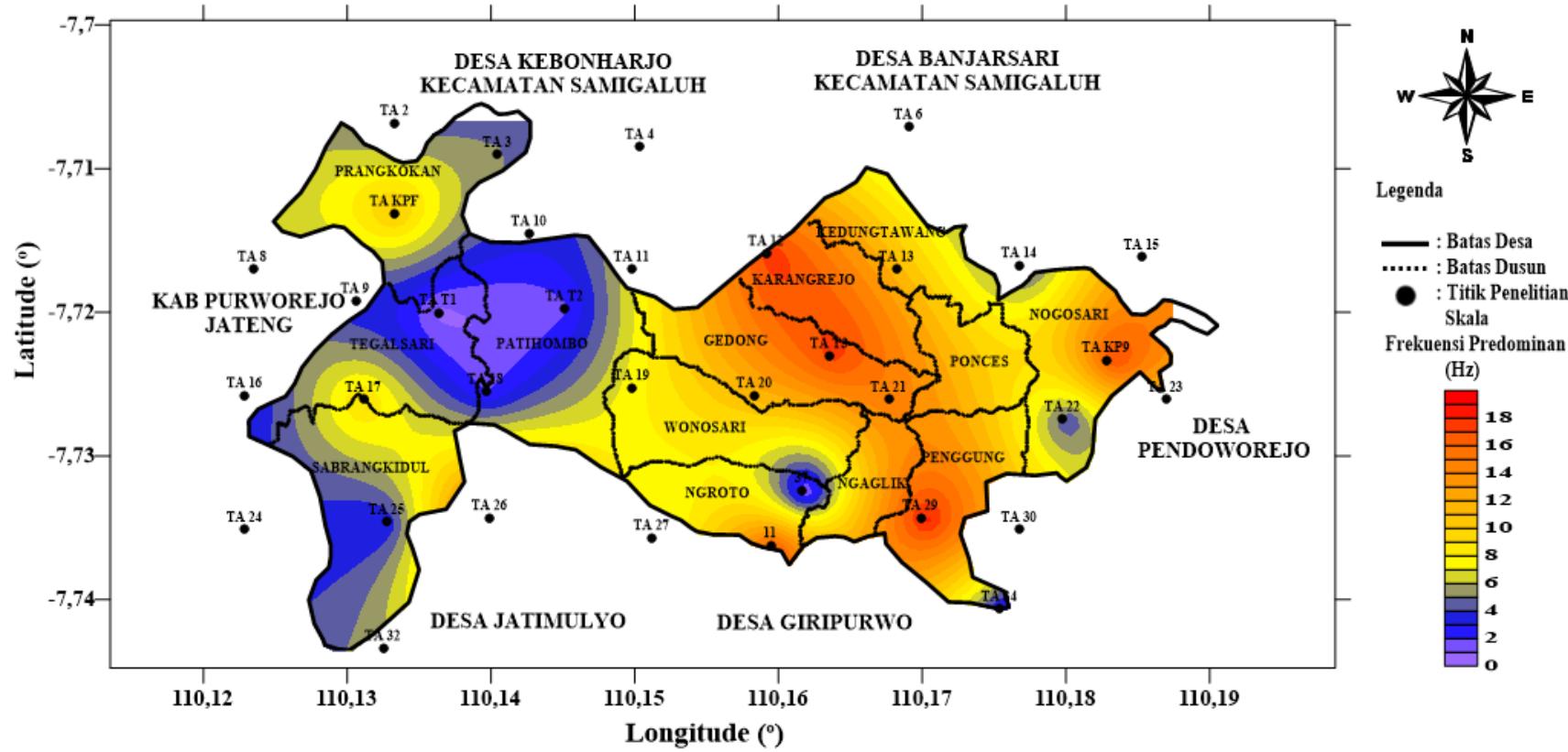
dengan ketebalan lapisan sedimen, sehingga frekuensi predominan yang rendah menggambarkan suatu daerah dengan sedimen yang tebal atau tanah yang lunak, sedangkan nilai frekuensi predominan yang tinggi menggambarkan daerah yang memiliki ketebalan sedimen yang tipis dan memiliki tanah yang lebih keras.

Nilai frekuensi predominan Desa Purwosari adalah 0,61 – 18,57 Hz, maka dapat diklasifikasikan berdasarkan klasifikasi Kanai seperti yang ditunjukkan pada Tabel 11. Nilai frekuensi predominan yang didapatkan di setiap titik penelitian ditunjukkan pada peta pemodelan (mikrozonasi) frekuensi predominan seperti pada Gambar 16.

Tabel 11. Klasifikasi Nilai Frekuensi Predominan (f_0) Desa Purwosari.

Klasifikasi	Klasifikasi Tanah*	Frekuensi Predominan (Hz)	Lokasi
Tinggi	Jenis I	6,68 – 18,57	11, TA 11, TA 12, TA 13, TA 15, TA 17, TA 19, TA 20, TA 21, TA 23, TA 26, TA 29, TA 30, TA KPF, TA KP9, dan TA T3.
Sedang	Jenis II	4,1 – 6,67	TA 3, TA 8, TA 10, TA 27, dan TA 32.
	Jenis III	2,51 – 4	TA 2, TA 4, TA 6, TA 9, TA 14, TA 16, TA 22, TA 24, dan TA 25.
Rendah	Jenis IV	0,61 – 2,5	37, TA 18, TA 34, TA T1, dan TA T2.

*) Klasifikasi tanah menurut Kanai.



Gambar 16. Peta Pemodelan Frekuensi Predominan Desa Purwosari.

Pada mikrozonasi frekuensi predominan (Gambar 16), diperoleh nilai frekuensi predominan dengan klasifikasi rendah, sedang, dan tinggi berdasarkan klasifikasi Kanai. Nilai frekuensi predominan rendah berada pada rentang nilai 0,61 – 2,5 Hz. Daerah dengan frekuensi predominan rendah ini dimungkinkan mempunyai kondisi tanah yang lunak dan sedimen yang tebal. Daerah yang mempunyai persebaran nilai frekuensi predominan rendah yaitu Dusun Patihombo, Dusun Tegalsari, dan bagian timur Dusun Ngroto.

Nilai frekuensi predominan sedang berada pada rentang nilai 2,51 – 6,67 Hz. Daerah yang mempunyai persebaran nilai frekuensi predominan sedang yaitu bagian utara Dusun Prangkukan, bagian selatan Dusun Wonosari dan Dusun Nogosari, dan bagian barat Dusun Sabrangkidul.

Nilai frekuensi predominan dengan nilai tinggi berada pada rentang nilai 6,68 – 18,57 Hz. Daerah dengan frekuensi predominan yang tinggi dimungkinkan tersusun dari tanah yang lebih keras dan memiliki sedimen yang tipis. Daerah yang mempunyai persebaran nilai frekuensi predominan tinggi yaitu Dusun Penggung, Dusun Ngaglik, Dusun Ponces, Dusun Kedungtawang, Dusun Karangrejo dan Dusun Gedong.

B. Faktor Amplifikasi (A_0)

Selain frekuensi predominan (f_0), didapatkan juga nilai faktor amplifikasi (A_0) dari pengolahan kurva HVSR. Faktor amplifikasi dipengaruhi oleh kecepatan gelombang geser (v_s), apabila kecepatan gelombang geser semakin kecil maka faktor amplifikasi semakin besar. Hal ini berhubungan dengan tingkat kepadatan

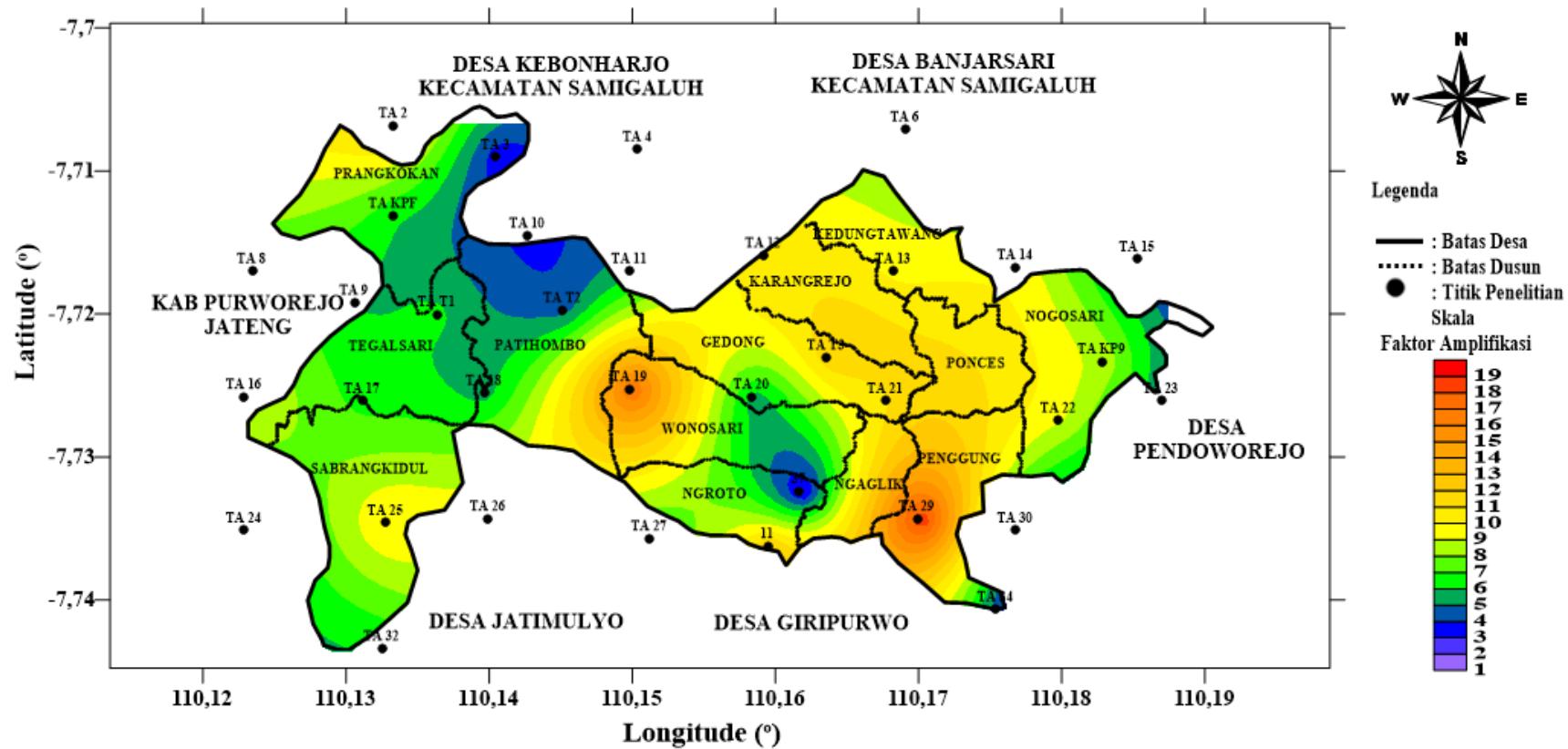
batuan, dimana berkurangnya kepadatan batuan akan meningkatkan nilai faktor amplifikasi (Hartati, 2014).

Nilai faktor amplifikasi Desa Purwosari adalah 2,66 – 19,11. Nilai faktor amplifikasi tersebut diklasifikasikan berdasarkan nilai tinggi rendahnya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 12. Nilai faktor amplifikasi yang didapatkan di setiap titik penelitian ditunjukkan pada peta pemodelan (mikrozonasi) faktor amplifikasi seperti pada Gambar 17.

Tabel 12. Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi (A_0) Desa Purwosari (Setiawan, 2009).

Klasifikasi	Zona	Faktor Amplifikasi	Lokasi
Rendah	I	2,66 – 2,99	37.
Sedang	II	3 – 5,9	TA 3, TA 9, TA 10, TA 11, TA 15, TA 18, TA 20, TA 23, TA 24, TA 30, TA 34, dan TA T2.
Tinggi	III	6 – 8,99	TA 4, TA 6, TA 8, TA 17, TA 22, TA 27, TA 32, TA KP9, TA KPF, dan TA T1.
	IV	9 – 19,11	11, TA 2, TA 12, TA 13, TA 14, TA 16, TA 19, TA 21, TA 25, TA 26, TA 29, dan TA T3.

Pada mikrozonasi faktor amplifikasi (Gambar 17), diperoleh nilai faktor amplifikasi dengan klasifikasi rendah, sedang, dan tinggi. Nilai faktor amplifikasi rendah berada pada rentang nilai 2,66 – 2,99. Daerah yang mempunyai persebaran nilai faktor amplifikasi rendah yaitu bagian utara Dusun Patihombo, dan bagian timur Dusun Ngroto.



Gambar 17. Peta Pemodelan Faktor Amplifikasi Desa Purwosari.

Nilai faktor amplifikasi sedang berada pada rentang nilai 3 – 5,99. Daerah yang mempunyai persebaran nilai faktor amplifikasi sedang yaitu Dusun Tegalsari, Dusun Sabrangkidul, bagian timur Dusun Prangkukan dan Dusun Wonosari.

Nilai faktor amplifikasi dengan nilai tinggi berada pada rentang nilai 6 – 19,11. Daerah yang mempunyai persebaran nilai faktor amplifikasi tinggi yaitu Dusun Penggung, Dusun Ngaglik, Dusun Ponces, Dusun Kedungtawang, Dusun Nogosari, Dusun Karangrejo dan Dusun Gedong.

C. Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA)

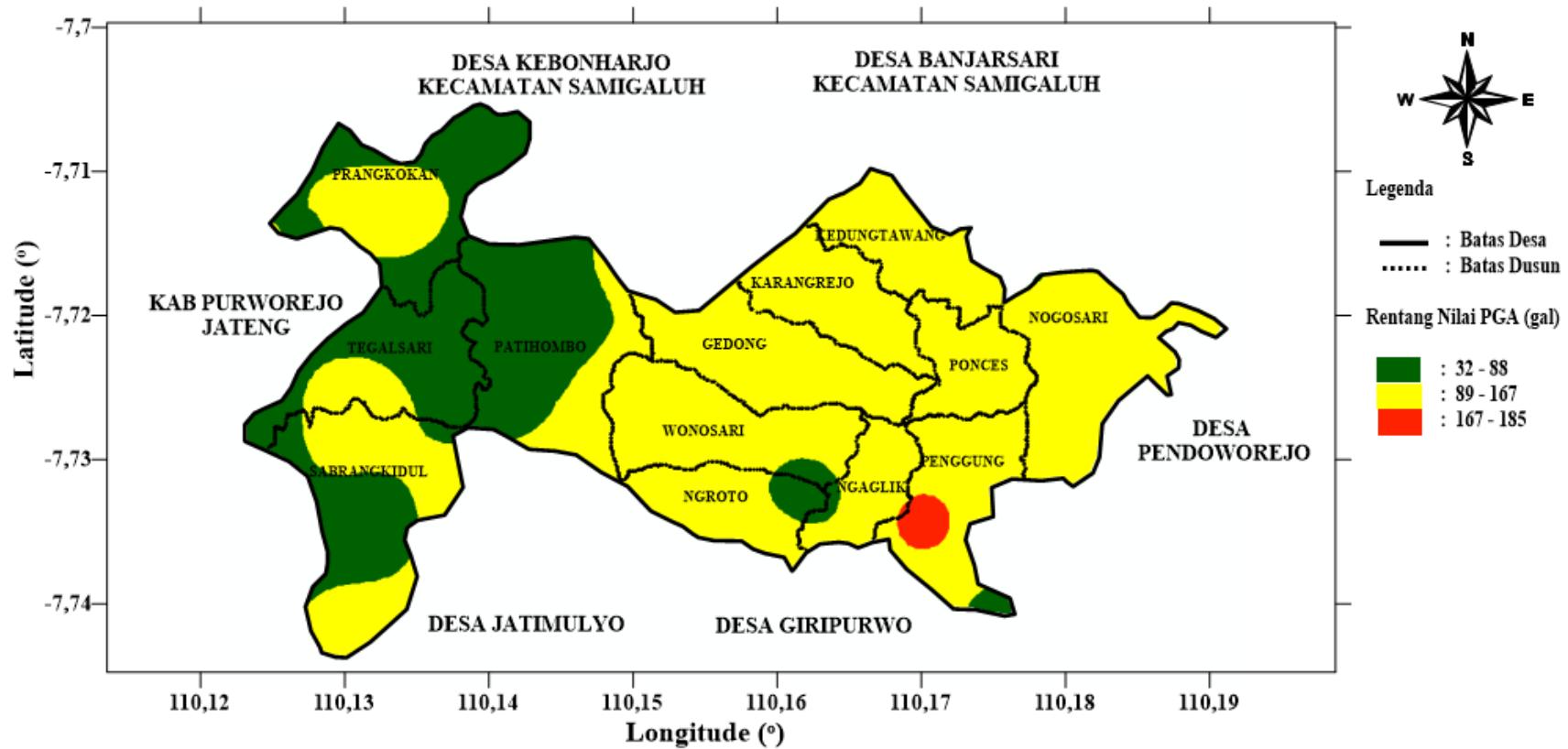
Nilai percepatan getaran tanah maksimum atau *peak ground acceleration* (PGA) pada penelitian ini ditentukan dengan metode Kanai (1966) berdasarkan persamaan (14), dengan parameter periode predominan tanah yang telah dihitung sebelumnya dari frekuensi predominan. Parameter lain untuk menghitung nilai PGA yaitu episenter, hiposenter dan magnitudo yang mengacu pada gempa bumi Yogyakarta tanggal 27 Mei 2006. Gempa bumi tersebut berasal dari episenter di $8,03^\circ$ LS dan $110,32^\circ$ BT pada kedalaman 12 km dengan kekuatan 5,9 SR. Dilihat dari kedalamannya, gempa bumi ini termasuk gempa bumi dengan kedalaman dangkal, yaitu kurang dari 30 km. Semakin dangkal kedalaman gempa bumi maka kerusakan yang ditimbulkan akibat gempa bumi akan semakin tinggi. Selain itu, magnitudo gempa bumi yang besar juga menyebabkan dampak gempa bumi yang besar terutama pada daerah perbukitan karena dapat mengakibatkan terjadinya tanah longsor.

Desa Purwosari terletak di wilayah bagian utara dari Kabupaten Kulon Progo yang merupakan daerah perbukitan. Desa Purwosari terletak pada ketinggian antara

200 – 800 meter di atas permukaan air laut, sehingga apabila ada getaran tanah atau gempa bumi sangat berpotensi mengakibatkan terjadinya tanah longsor. Berdasarkan hasil pengolahan data dan hasil perhitungan diperoleh nilai PGA antara $32 - 185 \text{ cm/s}^2$. Berdasarkan Skala Intensitas Gempa Bumi (SIG-BMKG) seperti yang ditunjukkan Tabel 4, rentang nilai PGA masuk dalam skala II, III, dan IV. Nilai PGA yang didapatkan di setiap titik penelitian ditunjukkan pada peta pemodelan (mikrozonasi) *peak ground acceleration* (PGA) seperti pada Gambar 18.

Dari mikrozonasi PGA (Gambar 18), diperoleh nilai PGA dengan klasifikasi rendah, sedang, dan tinggi. Nilai PGA rendah berada pada rentang nilai $32 - 88 \text{ cm/s}^2$ dan berada pada zona warna hijau. Nilai PGA sedang berada pada rentang nilai $89 - 167 \text{ cm/s}^2$ dan berada pada zona warna kuning, sedangkan untuk nilai PGA tinggi berada pada rentang nilai $89 - 185 \text{ cm/s}^2$ dan berada pada zona warna merah.

Desa Purwosari didominasi oleh nilai PGA sedang, untuk nilai PGA rendah terdapat pada bagian utara Dusun Prangkukan dan Dusun Tegalsari, bagian timur Dusun Ngroto, bagian selatan Dusun Wonosari, dan bagian barat Dusun Patihombo dan Sabrangkidul, sedangkan untuk nilai PGA tinggi hanya terdapat pada Dusun Penggung. Nilai PGA yang tinggi tersebut dipengaruhi oleh faktor jarak. Titik pengukuran yang menghasilkan nilai PGA yang tinggi adalah titik TA 29 dengan jarak sebesar 36,88 km dari pusat gempa bumi Yogyakarta 27 Mei 2006.



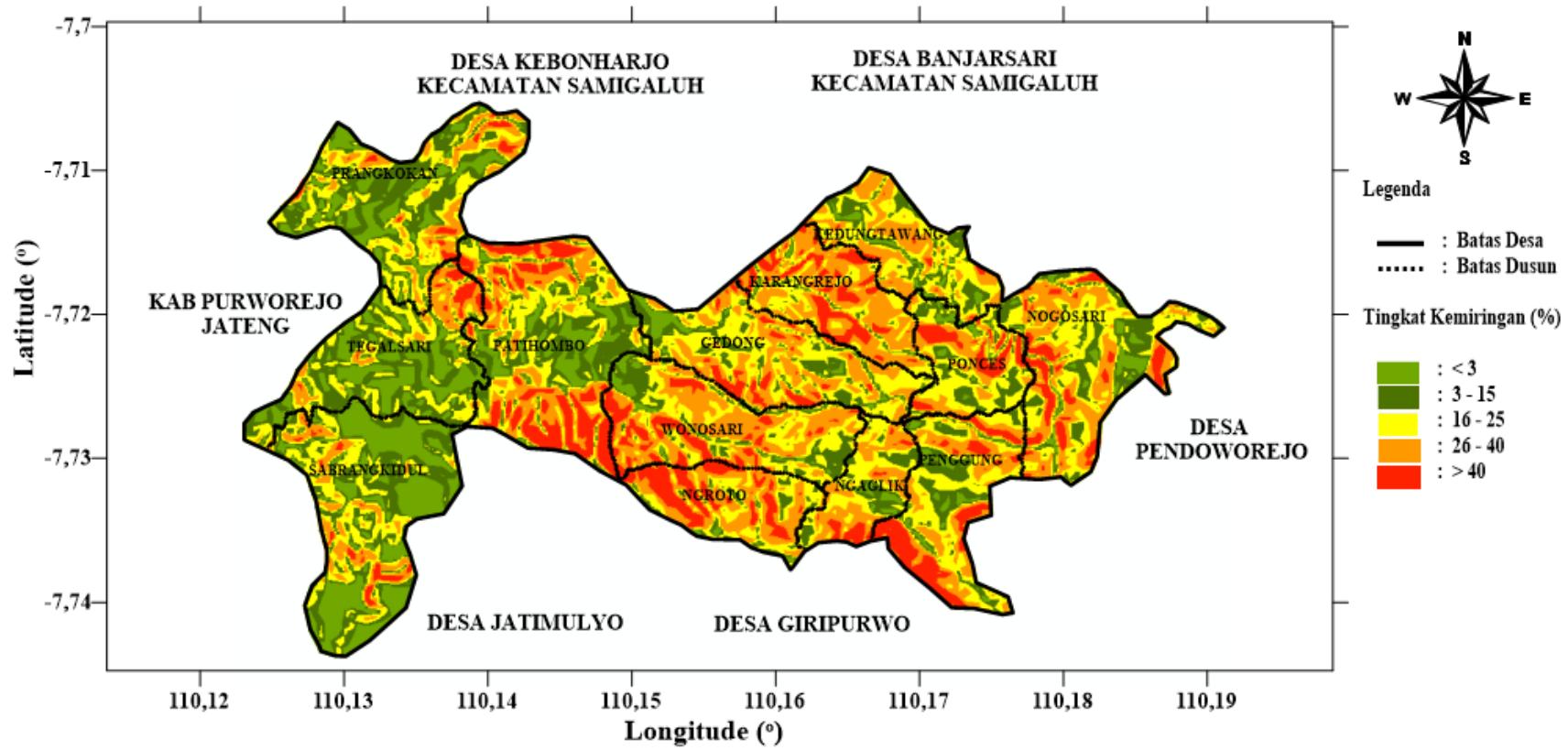
Gambar 18. Peta Pemodelan *Peak Ground Acceleration* (PGA) Desa Purwosari.

D. Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng menjadi faktor yang sangat penting dalam proses terjadinya tanah longsor. Kondisi kemiringan lereng lebih dari 15% perlu mendapat perhatian terhadap kemungkinan bencana tanah longsor dan tentunya dengan mempertimbangkan faktor-faktor lain yang mendukung (Karnawati, 2001). Pada dasarnya Desa Purwosari merupakan daerah perbukitan yang membentuk lahan miring (lereng), namun tidak selalu lahan yang miring berpotensi tanah longsor. Potensi gerakan pada lereng dapat disebabkan karena terjadi getaran. Getaran yang terjadi biasanya diakibatkan oleh adanya gempa bumi. Selain itu, potensi gerakan pada lereng juga tergantung pada kondisi batuan, tanah penyusun lereng, curah hujan, dan penggunaan lahan pada lereng tersebut.

Kemantapan suatu lereng tergantung kepada gaya penggerak dan gaya penahan yang ada pada lereng tersebut. Gaya penggerak adalah gaya-gaya yang berusaha untuk membuat lereng longsor, sedangkan gaya penahan adalah gaya-gaya yang mempertahankan kemantapan lereng tersebut. Jika gaya penahan ini lebih besar daripada gaya penggerak, maka lereng tersebut tidak akan mengalami gangguan atau berarti lereng dalam keadaan mantap (Mustafril, 2003).

Pada penelitian ini, nilai kemiringan lereng ditentukan dengan menggunakan data ketinggian Desa Purwosari dan diolah menggunakan *ArcGis 10.4.1*. Nilai kemiringan lereng kemudian dibagi menjadi 5 kelas yang mengacu pada klasifikasi kemiringan lereng menurut Van Zuidam (1983), seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Nilai kemiringan lereng yang didapatkan pada penelitian ini ditunjukkan pada peta kemiringan lereng Desa Purwosari seperti pada Gambar 19.



Gambar 19. Peta Kemiringan Lereng Desa Purwosari.

Berdasarkan peta kemiringan lereng (Gambar 19) dan klasifikasi kemiringan lereng (Tabel 2), diperoleh nilai kemiringan lereng dengan klasifikasi datar, kemiringan lereng rendah, kemiringan lereng sedang, kemiringan lereng tinggi dan curam. Nilai kemiringan lereng datar berada pada rentang nilai kurang dari 3% dan berada pada zona warna hijau muda. Nilai kemiringan lereng rendah berada pada rentang nilai 16 – 25% dan berada pada zona warna kuning. Nilai kemiringan lereng sedang berada pada rentang nilai 16 – 25% dan berada pada zona warna kuning. Nilai kemiringan lereng tinggi berada pada rentang nilai 26 – 40% dan berada pada zona warna jingga. Sedangkan untuk nilai kemiringan lereng curam berada pada rentang nilai lebih dari 40% dan berada pada zona warna merah.

Pada Gambar 19 terlihat bahwa dusun-dusun yang berada di Desa Purwosari memiliki kelas kemiringan lereng dari kemiringan lereng yang datar sampai dengan kemiringan lereng curam. Akan tetapi yang membedakan dusun satu dengan dusun yang lainnya yaitu persebaran kelas kemiringan lereng yang tidak merata atau hanya didominasi oleh kelas kemiringan tertentu.

Pada bagian barat Desa Purwosari kemiringan lereng didominasi oleh kemiringan lereng datar sampai dengan kemiringan lereng rendah, sehingga wilayah ini mempunyai potensi kejadian tanah longsor yang rendah. Adapun bagian barat Desa Purwosari meliputi Dusun Prangkukan, Dusun Tegalsari, Dusun Sabrangkidul, dan Dusun Patihombo.

Pada bagian timur Desa Purwosari kemiringan lereng didominasi oleh kemiringan lereng sedang sampai dengan kemiringan lereng curam, sehingga wilayah ini mempunyai potensi kejadian tanah longsor yang tinggi. Adapun bagian

timur Desa Purwosari meliputi Dusun Ngroto, Dusun Wonosari, Dusun Gedong, Dusun Ngaglik, Dusun Penggung, Dusun Ponces, Dusun Karangrejo, Dusun Kedungtawang, dan Dusun Nogosari.

E. Zonasi Rawan Tanah Longsor

Tanah longsor merupakan perpindahan material pembentuk suatu lereng berupa batuan atau tanah yang bergerak ke bawah atau keluar lereng. Tanah longsor hanya dapat terjadi pada suatu lereng baik pada perbukitan, pegunungan, bantaran sungai, atau struktur timbunan. Tanah longsor dapat dimungkinkan untuk diketahui melalui identifikasi faktor-faktor penyebab (*causes*) dan pemicu (*trigger*) terjadinya tanah longsor.

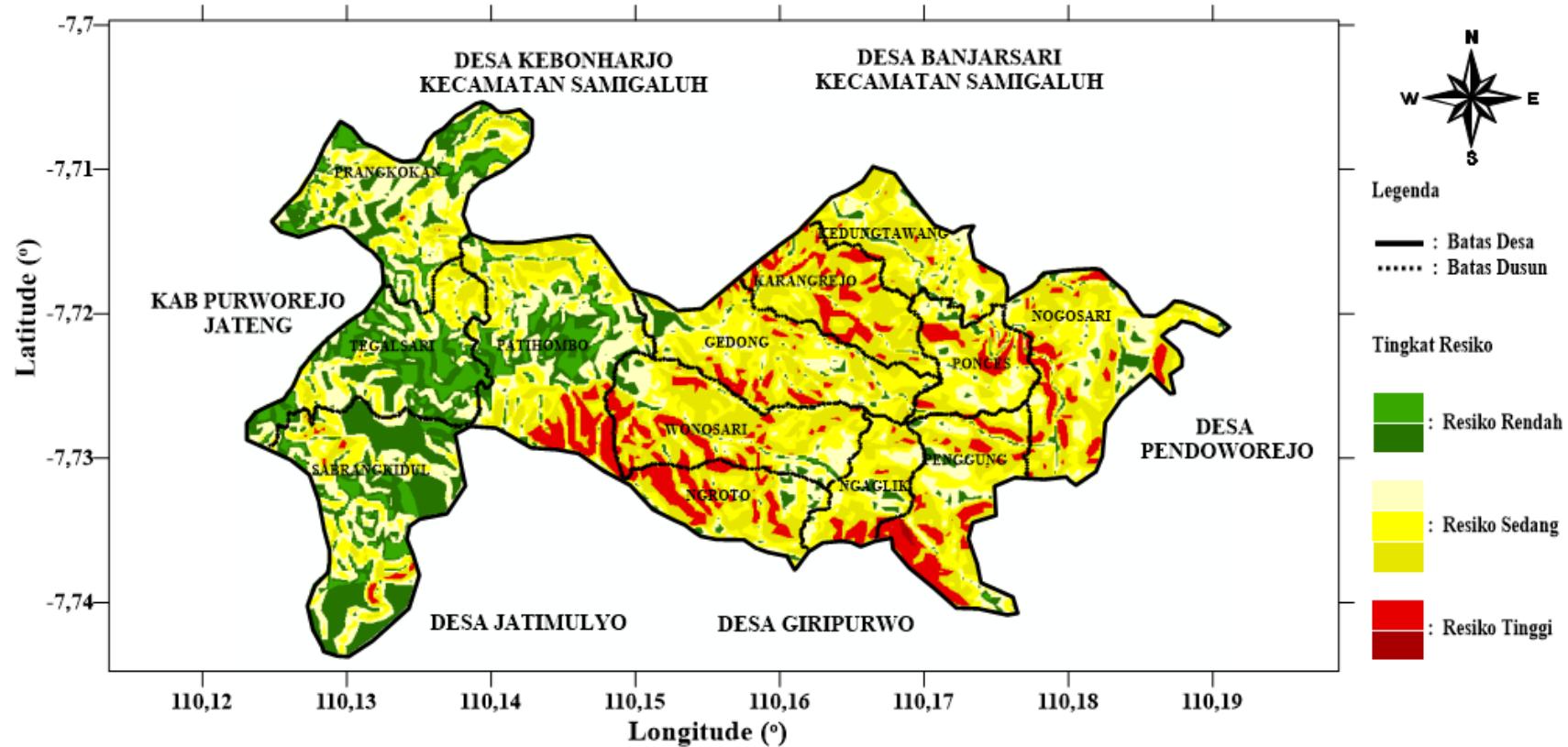
Faktor penyebab dapat disebut sebagai faktor-faktor yang membuat lereng mengalami kegagalan struktur, yang kemudian membuat lereng menjadi tidak stabil. Faktor penyebab meliputi faktor geologi, morfologi, dan aktifitas manusia, sedangkan pemicu adalah kejadian tunggal yang akhirnya bisa menyebabkan terjadinya tanah longsor seperti terjadinya gempa bumi, curah hujan, dan aktivitas vulkanik. Maka dapat disimpulkan bahwa kombinasi faktor-faktor penyebab membuat kondisi struktur lereng mengalami kegagalan, sedangkan pemicu yang akhirnya menyebabkan terjadinya pergerakan lereng (Muntohar, 2015).

Pada penelitian ini, peta zonasi rawan tanah longsor di Desa Purwosari dibuat berdasarkan nilai PGA dan nilai kemiringan lereng yang telah dihitung sebelumnya. Nilai PGA terdiri dari 3 kelas, sedangkan nilai kemiringan lereng terdiri dari 5 kelas. Kedua parameter tersebut digabung menggunakan analisis skoring dan klasifikasi untuk menentukan zonasi rawan tanah longsor di Desa Purwosari. Tabel

10 menunjukkan klasifikasi zonasi rawan tanah longsor di Desa Purwosari yang terdiri atas 3 kelas. Kelas yang pertama mempunyai skor atau nilai kurang dari 4 dan termasuk klasifikasi zona risiko rendah. Kelas yang kedua mempunyai skor atau nilai 4 – 6 dan termasuk klasifikasi zona risiko sedang. Sedangkan kelas yang ketiga mempunyai skor atau nilai lebih dari 6 dan termasuk klasifikasi zona risiko tinggi. Zonasi rawan tanah longsor yang didapatkan pada penelitian ini ditunjukkan pada peta zonasi rawan tanah longsor Desa Purwosari seperti pada Gambar 20.

Pada peta zonasi rawan tanah longsor (Gambar 20), zona risiko rendah ditunjukkan dengan warna hijau dan hijau tua, zona risiko sedang ditunjukkan dengan warna kuning muda, kuning dan kuning tua, sedangkan zona risiko tinggi ditunjukkan dengan warna merah dan merah tua. Pada Gambar 21 terlihat bahwa dusun-dusun yang berada di Desa Purwosari memiliki zonasi rawan tanah longsor dari zona risiko sedang sampai dengan zona risiko tinggi. Akan tetapi yang membedakan dusun satu dengan dusun yang lainnya yaitu persebaran zonasi rawan tanah longsor yang tidak merata atau hanya didominasi oleh zona risiko tertentu.

Di bagian barat Desa Purwosari, zonasi rawan tanah longsornya didominasi oleh zona risiko rendah yang meliputi Dusun Prangkukan, Dusun Tegalsari, Dusun Sabrangkidul, dan Dusun Patihombo, sedangkan bagian timur Desa Purwosari zonasi rawan tanah longsornya didominasi oleh zona risiko sedang sampai dengan zona risiko tinggi yang meliputi Dusun Ngroto, Dusun Wonosari, Dusun Gedong, Dusun Ngaglik, Dusun Penggung, Dusun Ponces, Dusun Karangrejo, Dusun Kedungtawang, dan Dusun Nogosari.



Gambar 20. Peta Zonasi Rawan Tanah Longsor Desa Purwosari.

Berdasarkan data BPBD Kulon Progo (2017), tercatat sepanjang tahun 2008 hingga tahun 2016 di Desa Purwosari telah terjadi tanah longsor sebanyak 163 kali yang tersebar pada 13 dusun. Adapun rincian kejadian tanah longsor seperti yang ditunjukkan Tabel 1. Kejadian tanah longsor tersebut diklasifikasikan berdasarkan nilai tinggi rendahnya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Klasifikasi kejadian Tanah Longsor dari tahun 2008 sampai tahun 2016 di Desa Purwosari.

Klasifikasi	Jumlah Kejadian Tanah Longsor	Dusun
Sangat rendah	< 9	Prangkukan, Tegalsari, dan Sabrangkidul.
Rendah	9 – 11	Karangrejo, Penggung dan Ponces.
Sedang	12 – 13	Wonosari, Patihombo, dan Kedungtawang.
Tinggi	14 – 18	Ngaglik, Gedong, dan Nogosari.
Sangat tinggi	> 18	Ngroto.

Berdasarkan Tabel 13, klasifikasi sangat rendah memiliki kejadian tanah longsor kurang dari 9 kejadian, yang meliputi Dusun Prangkukan, Dusun Tegalsari, dan Dusun Sabrangkidul. Klasifikasi rendah memiliki kejadian tanah longsor dari 9 – 11 kejadian, yang meliputi Dusun Karangrejo, Dusun Penggung, dan Dusun Ponces. Klasifikasi sedang memiliki kejadian tanah longsor dari 12 – 13 kejadian yang meliputi Dusun Wonosari, Dusun Patihombo, dan Dusun Kedungtawang. Klasifikasi tinggi memiliki kejadian tanah longsor dari 14 – 18 kejadian, yang meliputi Dusun Ngaglik, Dusun Gedong, dan Dusun Nogosari. Sedangkan klasifikasi sangat tinggi memiliki kejadian tanah longsor lebih dari 18 kejadian, yang terdapat pada Dusun Ngroto.

Berdasarkan hasil survei lapangan yang dilakukan pada September 2017 dan Mei 2018, didapatkan total 44 titik kejadian tanah longsor dan rekahan tanah di Desa Purwosari. Adapun rincian kejadian tanah longsor dan rekahan tanah seperti yang ditunjukkan Tabel 14.

Tabel 14. Kejadian Tanah Longsor dan Rekahan Tanah dari tahun 2017 sampai tahun 2018 di Desa Purwosari.

Dusun	Nama Titik Tanah Longsor dan Rekahan Tanah	Jumlah
Prangkukan	A7 dan A8.	2
Tegalsari	3 dan A9.	2
Sabrangkidul	1 dan A16.	2
Patihombo	7, 20, dan A15.	3
Gedong	2, 8, 21, dan A10.	4
Wonosari	A11, A12, A13, dan A14.	4
Ngroto	11, 13, 17, 18, dan 24.	5
Kedungtawang	A4, A5, dan A6.	3
Karangrejo	5, 19, 23, dan 27.	4
Ngaglik	10, 12, 14, 22, dan 26.	5
Ponces	6, 15, dan 28.	3
Penggung	4, 9, 16, dan 25.	4
Nogosari	A1, A2, dan A3.	3

Berdasarkan Tabel 14, kejadian tanah longsor dan rekahan tanah paling banyak terdapat pada Dusun Ngroto dan Dusun Ngaglik yang masing-masing mempunyai 5 kejadian. Sedangkan kejadian tanah longsor dan rekahan tanah paling sedikit terdapat pada Dusun Prangkukan, Dusun Tegalsari, dan Dusun Sabrangkidul yang masing-masing mempunyai 2 kejadian.

Kejadian tanah longsor dan rekahan tanah paling banyak terjadi pada bagian timur Desa Purwosari yang berjumlah 35 kejadian, sedangkan bagian barat Desa Purwosari hanya berjumlah 9 kejadian. Hal ini sesuai dengan peta zonasi rawan tanah longsor Desa Purwosari (Gambar 20), karena bagian timur Desa Purwosari

didominasi oleh zona risiko sedang sampai dengan tinggi, sedangkan bagian barat Desa Purwosari didominasi oleh zona risiko rendah.

Titik-titik tanah longsor dan rekahan tanah selanjutnya dioverlay dengan peta zonasi rawan tanah longsor seperti pada Gambar 21, yang bertujuan untuk mengetahui persebaran titik-titik pada zonasi rawan tanah longsor Desa Purwosari. Zona risiko tinggi mempunyai jumlah kejadian tanah longsor paling banyak yaitu dengan 25 kejadian, zona risiko sedang mempunyai jumlah kejadian tanah longsor sebanyak 15 kejadian, sedangkan zona risiko rendah mempunyai jumlah kejadian tanah longsor paling sedikit yaitu dengan 4 kejadian.

Gambar 22(a) merupakan contoh kejadian rekahan tanah pada titik 10 yang terletak pada Dusun Ngaglik. Titik ini berada pada zona risiko rendah yang memiliki nilai PGA $40,56 \text{ cm/s}^2$ yang termasuk nilai PGA klasifikasi rendah, dan berada pada kemiringan lereng yang rendah.

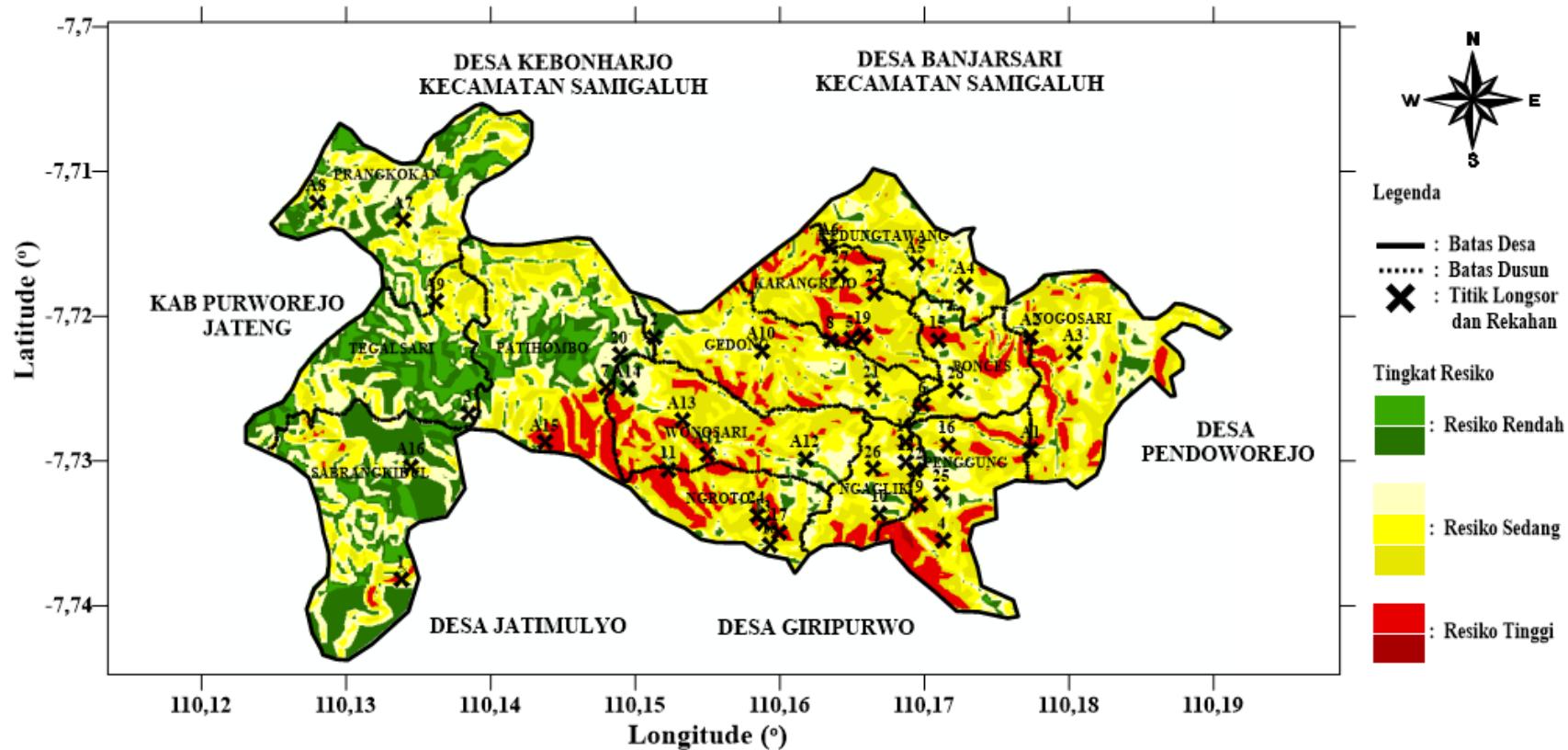
Gambar 22(b) merupakan contoh kejadian tanah longsor pada titik A9 yang terletak pada Dusun Tegalsari. Titik ini berada pada zona risiko sedang yang memiliki nilai PGA $45,86 \text{ cm/s}^2$ yang termasuk nilai PGA klasifikasi rendah, dan berada pada kemiringan lereng yang sedang.

Gambar 22(c) merupakan contoh kejadian tanah longsor pada titik A8 yang terletak pada Dusun Prangkokan. Titik ini berada pada zona risiko sedang yang memiliki nilai PGA $97,17 \text{ cm/s}^2$ yang termasuk nilai PGA klasifikasi sedang, dan berada pada kemiringan lereng yang tinggi.

Gambar 22(d) merupakan contoh kejadian tanah longsor pada titik 24 yang terletak pada Dusun Ngroto. Titik ini berada pada zona risiko tinggi yang memiliki nilai PGA $112,98 \text{ cm/s}^2$ yang termasuk nilai PGA klasifikasi sedang, dan berada pada kemiringan lereng yang tinggi.

Gambar 22(e) merupakan contoh kejadian tanah longsor pada titik A3 yang terletak pada Dusun Ngroto. Titik ini berada pada zona risiko tinggi yang memiliki nilai PGA $135,34 \text{ cm/s}^2$ yang termasuk nilai PGA klasifikasi sedang, dan berada pada kemiringan lereng yang curam.

Gambar 22(f) merupakan contoh kejadian tanah longsor pada titik 9 yang terletak pada Dusun Penggung. Titik ini berada pada zona risiko tinggi yang memiliki nilai PGA $168,11 \text{ cm/s}^2$ yang termasuk nilai PGA klasifikasi tinggi, dan berada pada kemiringan lereng yang curam.



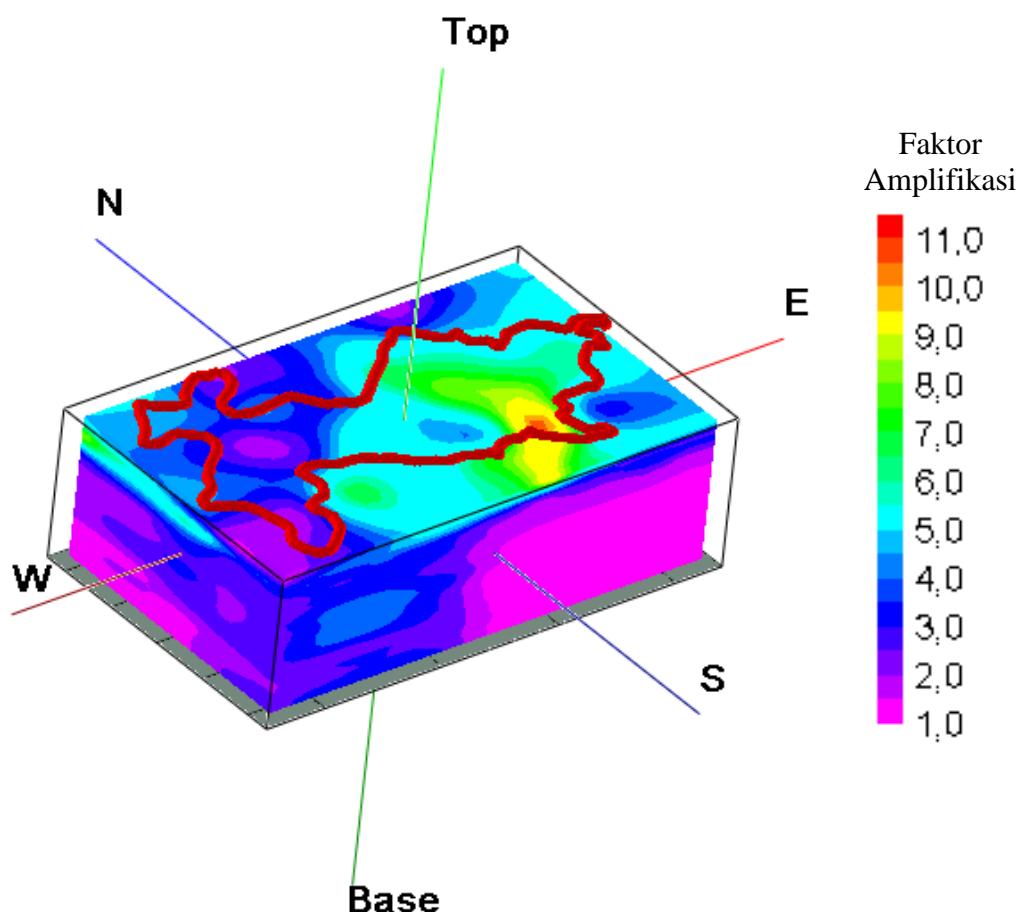
Gambar 21. Distribusi Titik-titik Tanah Longsor dan Rekahan Tanah dari tahun 2017 sampai tahun 2018 pada Peta Zonasi Rawan Tanah Longsor Desa Purwosari.



Gambar 22. Kejadian Tanah Longsor Desa Purwosari, (a) Titik 10, (b) Titik A9, (c) Titik A8, (d) Titik 24, (e) Titik A3, (f) Titik 9.

F. Pemodelan 3D Distribusi Nilai Faktor Amplifikasi (A_0)

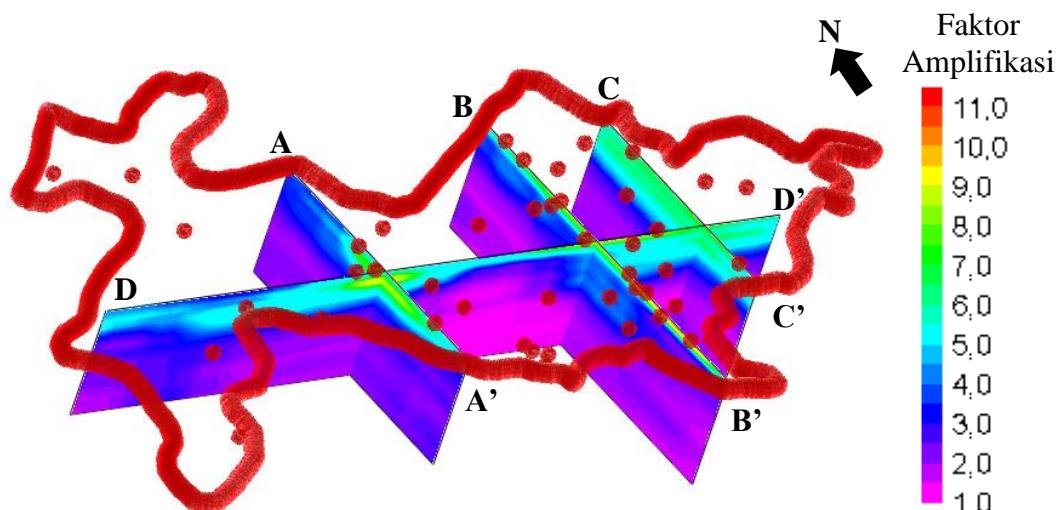
Pemodelan 3D dibuat berdasarkan nilai faktor amplifikasi pada kedalaman tertentu, sehingga mempermudah visualisasi persebaran nilai faktor amplifikasi di Desa Purwosari. Gambar 23 merupakan hasil dari pemodelan 3D distribusi nilai faktor amplifikasi untuk kedalaman 0 – 300 meter. Dari skala yang ditunjukkan, nilai faktor amplifikasi berkisar antara 1 – 11. Apabila dilihat dari permukaannya, nilai faktor amplifikasi tinggi berada pada bagian timur Desa Purwosari, sedangkan nilai faktor amplifikasi rendah berada pada bagian barat Desa Purwosari.



Gambar 23. Tampilan model 3D distribusi nilai faktor amplifikasi di Desa Purwosari.

Berdasarkan Gambar 23, nilai faktor amplifikasi rendah ditunjukkan dengan warna ungu dan ungu tua, nilai faktor amplifikasi sedang ditunjukkan dengan warna biru dan biru muda, sedangkan nilai faktor amplifikasi tinggi ditunjukkan dengan warna hijau, kuning, dan merah.

Pemodelan 3D distribusi nilai faktor amplifikasi kemudian dioverlay dengan 44 titik tanah longsor yang didapatkan dari survei lapangan yang dilakukan pada September 2017 dan Mei 2018 (Tabel 14). Hal ini bertujuan untuk mengetahui persebaran titik-titik tanah longsor pada pemodelan 3D distribusi nilai faktor amplifikasi. Apabila pemodelan pada Gambar 23 dilakukan penyayatan terhadap titik-titik tanah longsor di Desa Purwosari seperti yang ditunjukkan pada Gambar 24, maka dapat diketahui bahwa titik-titik tanah longsor berada pada lapisan permukaan yang mempunyai nilai faktor amplifikasi tinggi.



Gambar 24. Hasil sayatan model 3D yang sudah dioverlay dengan 44 titik tanah longsor di Desa Purwosari.

Berdasarkan Gambar 24, terdapat 4 sayatan yaitu A – A', B – B', C – C', dan D – D'. Pada sayatan A – A', lapisan permukaan terdiri dari nilai faktor

amplifikasi sedang (warna biru) dan nilai faktor amplifikasi tinggi (warna hijau dan kuning). Pada sayatan A – A' terdapat 3 titik tanah longsor yang semuanya terletak pada nilai faktor amplifikasi tinggi. Pada sayatan B – B', lapisan permukaan didominasi oleh nilai faktor amplifikasi tinggi (warna hijau dan kuning). Pada sayatan B – B' terdapat 10 titik tanah longsor. Pada sayatan C – C', lapisan permukaan didominasi oleh nilai faktor amplifikasi tinggi (warna hijau). Pada sayatan C – C' terdapat 2 titik tanah longsor, sedangkan pada sayatan D – D', lapisan permukaan terdiri dari nilai faktor amplifikasi sedang (warna biru) dan nilai faktor amplifikasi tinggi (warna hijau dan kuning). Pada sayatan D – D' terdapat 5 titik tanah longsor yang semuanya terletak pada nilai faktor amplifikasi tinggi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari penelitian yang berjudul Analisis Tingkat Risiko Tanah Longsor Berdasarkan Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) di Desa Purwosari Kecamatan Girimulyo Kabupaten Kulon Progo, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai frekuensi predominan di Desa Purwosari Kecamatan Girimulyo Kabupaten Kulon Progo berada pada kisaran 0,61 – 18,57 Hz, dan nilai faktor amplifikasi berada pada kisaran 2,66 – 19,11.
2. Nilai *peak ground acceleration* (PGA) di Desa Purwosari Kecamatan Girimulyo Kabupaten Kulon Progo berada pada kisaran 32 – 185 cm/s².
3. Potensi tanah longsor di Desa Purwosari Kecamatan Girimulyo Kabupaten Kulon Progo berdasarkan nilai PGA dan kemiringan lereng terbagi menjadi 3 zona yaitu zona risiko rendah, zona risiko sedang, dan zona risiko tinggi. Berdasarkan kejadian tanah longsor di Desa Purwosari dari tahun 2017 sampai tahun 2018, zona risiko tinggi mempunyai kejadian tanah longsor paling banyak yaitu 25 kejadian.

B. Saran

Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk memperbanyak titik lokasi pengukuran dengan jarak antar titik yang lebih kecil sehingga hasil yang dihasilkan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Addawiyah, Rifka. 2017. *Mikrozonasi Percepatan Getaran Tanah Maksimum Menggunakan Metode Kanai (1966) dan Intensitas Gempa bumi di Kawasan Jalur Sesar Opak*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Afidah, Z., Susilo, A., dan Anshori, M. 2015. *Studi Percepatan Tanah Maksimum di Daerah Istimewa Yogyakarta dengan Metode NGA (Next Generation Attenuation)*. Malang : Repository FMIPA Universitas Brawijaya.
- Bammelen, Van R. W. 1949. *The Geology of Indonesia*. Nederland: Martinus Nyhoff, The Hague.
- Bard, P.Y. 1999. *Microtremor measurement: a tool for site estimates. States of the art paper, second International Symposium on the Effect Surface Geology on Seismic Motion*, Yokohama, Desember 1-3, 1998, pp. 1252-1279.
- Bard, P.Y. 2000 *Lecture Notes On Seismology, Seismic Hazard Assessment and Risk Mitigation*, International Training Course, Postdam, h.160.
- BMKG. 1998. *Sumber Daya Geologi*. Jakarta: Buletin Meteorologi dan Geofisika No. 4.
- BMKG. 2018. *Data Gempa bumi di Indonesia*. Diakses melalui [http://inatews.bmkg.go.id/new/query_gmp_dirasakan.php pada 1 Mei 2018](http://inatews.bmkg.go.id/new/query_gmp_dirasakan.php).
- BMKG. 2018. *Skala Intensitas Gempa bumi*. Diakses melalui <https://www.bmkg.go.id/gempabumi/skala-intensitas-gempabumi.bmkg>. pada 1 Mei 2018.
- BPBD (Badan Penanggulangan Bencana Daerah) DIY. 2015. *Peta Sebaran Kejadian Bencana Tanah Longsor di Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2015*. Yogyakarta: BPBD DIY.
- BPBD (Badan Penanggulangan Bencana Daerah) Kulon Progo. 2017. *Data kejadian bencana tanah longsor di Desa Purwosari dari Tahun 2008 sampai Tahun 2016*. Kulon Progo: BPBD Kulon Progo.
- BPS (Badan Pusat Statistik) DIY. 2017. *Daerah Istimewa Yogyakarta Dalam Angka*. Yogyakarta: BPS DIY.
- BPS (Badan Pusat Statistik) Kulon Progo. 2017. *Kecamatan Girimulyo Dalam Angka*. Kulon Progo: BPS Kulon Progo.

- Daryono, Sutikno, Prayitni, dan Setio, B. 2009. Data *Mikrotremor dan Pemanfaatannya untuk Pengkajian Bahaya Gempa bumi*. Yogyakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Daryono. 2010. *Zona Rawan “Local Site Effect” Gempa bumi di Yogyakarta*. Yogyakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Diandong, R, R. Fu, L.M. Leslie, and R.E. Dickinson. 2011. *Predicting Storm-triggered Landslides*. Bull. Amer.Meteor.Soc.,92, 129-139.
- Douglas, J. 2011. *Ground Motion Prediction Equations 1964-2010*. London: South Kensington Campus Press.
- Edwiza, Daz dan Novita. 2008. *Pemetaan Percepatan Tanah dan Intensitas Seismik Kota Padang Panjang menggunakan Metode Kanai*. Sumatera Barat: Lab Geofisika Unand.
- Elnashai, S.A. dan Sarno, D.L. 2008. *Fundamental of Earthquake Engineering*. Hongkong: Wiley.
- Fransisko. 2015. *Analisis Percepatan Tanah Menggunakan Metode Kanai Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor di Kecamatan Jetis Kabupaten Bantul Yogyakarta*. Skripsi. Yogyakarta: FST UIN Yogyakarta.
- Hartati, Lidya. 2010. *Perbandingan Analisa Percepatan Tanah Pendekatan Empiris dengan Accelerograph dan Pemodelan Zonasi akibat Gempa bumi Studi Kasus Gempa Yogyakarta Tahun 2008 sampai dengan 2010*. Yogyakarta: FST UIN Yogyakarta.
- Hartati, Lidya. 2014. *Pemetaan Tingkat Risiko Gempa bumi Daerah Liwa dan Sekitarnya Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. Yogyakarta: UGM.
- Ibrahim. 2005. *Pengetahuan Seismologi*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Ibrahim, Gunawan dan Subardjo. 2005. *Pengetahuan Seismologi*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Ihsan, M. 2008. *Analisa Ketahanan Gempa Pada Struktur Rumah Tradisional Sumatra*. Skripsi. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Kanai. 1966. *Improved Empirical Formula For Characteristics Of Stray [sic] Earthquake Motion*. Pages 1-4 Of: Proceedings Of The Japanese Earthquake Symposium. Not Seen. Reported In Trifunac & Brady.

- Karnawati, Dwikorita. 2001. *Pengenalan Daerah Rentan Gerakan Tanah dan Upaya Mitigasinya*. Semarang: Pusat Studi Kebumian Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro.
- Karnawati, Dwikorita. 2005. *Bencana Alam Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Kayal, J R. 2008. *Microearthquake Seismology and Seismotectonics of South Asia*. India: Capital Publishing Company.
- Kirbani. 2012. *Mitigasi Bencana Gempa bumi*. Yogyakarta: Pusat Studi Bencana UGM.
- Lachet, C., dan Brad, P. Y. 1994. Numerical and Theoretical Investigation on The Possibilities and Limitations of Nakamura's Technique. *J. Phys. Earth*, 42, 377 397.
- Lathifah, N.R. 2015. *Studi Percepatan Getaran Tanah Maksimum dengan Metode Tong & Katayama (1988) dan Indeks Kerentanan Seismik di Dusun Patuk Kabupaten Gunung Kidul*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Lian, K.S. 2014. *Identifikasi Risiko Bahaya Gempa bumi Berdasarkan Parameter Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Tingkat Kepadatan Penduduk di Kabupaten Kulon Progo (Studi Kasus Gempa bumi Kebumen 25 Januari 2014)*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Lowrie, William. 2007. *Fundamentals of Geophysics*. New York: Cambridge University Press.
- Mirzaoglu, M. 2003. *Application of microtremors to seismic microzonasing procedure*. Balkan: journal of the Balkan geophysical, Vol. 6. No 3p.
- Muntohar, A.S. 2015. *Tanah Longsor: Analisis-Prediksi-Mitigasi*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Mustafril. 2003. *Analisis Stabilitas Lereng Untuk Konservasi Tanah dan Air di Kecamatan Banjarwangi Kabupaten Garut*. Bogor: Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor.
- Nakamura, Y. 1989. *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface*. Japan: Quarterly Report of Railway Technical Research Institu (RTRI), Vol. 30, No.1.
- Nakamura, Y. 2000. *Clear identification of fundamental idea of Nakamura's Technique and its application*. Japan: System and data research.
- Nandi. 2007. *Longsor*. Jurusan Pendidikan Geografi. Bandung: FPIPS-UPI.

- Novianta, M. A. dan Setyaningsih, E. 2015. *Rancang Bangun Sistem Deteksi Dini Gempa bumi Berdasarkan Fluktuasi Medan Magnet Menggunakan Sensor MEMS*. Purwokerto: UMP.
- Raharjo, W., Sukandarrumidi, H.M.D. Rosidi. 1995. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sears WF and Zemansky WM. 1994. *Fisika Untuk Universitas*. Jakarta: Binacipta.
- SESAME. 2004. *Guidelines For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations*. Europe: SESAME European research project.
- Sholahuddin, D.S. 2015. *SIG Untuk Memetakan Daerah Banjir dengan Metode Skoring dan Pembobotan (Studi Kasus Kabupaten Jepara)*. Semarang: Sistem Informasi, Fasilkom Udinus.
- Soenarmo, S.H, I. A. Sadisun dan E. Satohartono. 2008. *Kajian Awal Pengaruh Curah Hujan Terhadap Pendugaan Potensi Tanah Longsor berbasis Spasial di Kabupaten Bandung Jawa Barat*. Bandung: Jurnal Geoaplika.
- Suripin. 2002. *Pelestarian Sumberdaya Tanah dan Air*. Yogyakarta : Andi.
- Susilawati. 2008. *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa pada Penelaahan Struktur Bagian dalam Bumi*. Sumatera Utara: Universitas Sumatera Utara.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.F. 2004. *Applied Geophysics, Second Edition*. New York: Cambridge University Press.
- Van Zuidam, R. A. 1983. *Aspects of The Applied Geomorphologic Map of Republic of Indonesia*. The Netherlands: ITC.
- Yusuf, Nanang Firman Safari. 2008. *Kajian Pemanfaatan Ruang dalam kaitannya dalam bencana Tanah Longsor di Kabupaten Sinjai Provinsi Sulawesi Selatan*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Penelitian

Titik Data	Koordinat		f_0 (Hz)	A_0	T_g (sekon)	V_s (m/s)	h (meter)	PGA (cm/s ²)
	Bujur (°)	Lintang (°)						
11	110,16	-7,74	16,96	12,42	0,06	469,26	6,92	174,96
37	110,16	-7,73	0,61	2,66	1,63	192,94	78,74	32,97
TA 3	110,14	-7,71	5,11	3,40	0,20	548,25	26,81	85,68
TA 9	110,13	-7,72	3,08	5,94	0,32	524,65	42,59	67,35
TA 11	110,15	-7,72	7,14	5,62	0,14	469,09	16,42	105,28
TA 13	110,17	-7,72	11,04	9,65	0,09	487,49	11,03	134,80
TA 15	110,19	-7,72	13,17	3,86	0,08	531,32	10,08	150,53
TA 17	110,13	-7,73	9,29	6,65	0,11	489,08	13,16	119,46
TA 19	110,15	-7,73	7,63	17,25	0,13	552,96	18,11	111,61
TA 21	110,17	-7,73	14,62	11,02	0,07	513,12	8,77	159,47
TA 23	110,19	-7,73	10,37	4,64	0,10	439,66	10,60	138,25
TA 25	110,13	-7,73	2,92	10,10	0,34	540,31	46,24	68,88
TA 27	110,15	-7,74	6,03	6,28	0,17	557,83	23,12	102,67
TA 29	110,17	-7,73	18,57	19,11	0,05	550,93	7,42	185,17
TA KP9	110,18	-7,72	17,44	8,40	0,06	515,66	7,39	176,63
TA KPF	110,13	-7,71	10,59	6,23	0,09	515,66	12,17	123,32
TA T1	110,14	-7,72	0,72	6,24	1,38	185,64	64,10	33,07
TA T3	110,16	-7,72	17,53	11,92	0,06	493,54	7,04	171,83
TA 2	110,13	-7,71	3,54	12,09	0,28	539,42	38,06	70,03

Titik Data	Koordinat		f_0 (Hz)	A_0	T_g (sekon)	V_s (m/s)	h (meter)	PGA (cm/s ²)
	Bujur (°)	Lintang (°)						
TA 4	110,15	-7,71	3,54	6,20	0,28	483,48	34,17	72,29
TA 6	110,17	-7,71	3,26	6,87	0,31	501,00	38,43	71,08
TA 8	110,12	-7,72	6,29	7,34	0,16	514,73	20,47	94,41
TA 10	110,14	-7,71	3,56	3,80	0,28	499,58	35,05	72,96
TA 12	110,16	-7,72	17,64	10,87	0,06	501,90	7,11	167,41
TA 14	110,18	-7,72	3,55	9,56	0,28	409,04	28,77	77,38
TA 16	110,12	-7,73	2,68	9,56	0,37	443,27	41,27	63,20
TA 18	110,14	-7,73	1,92	5,59	0,52	434,74	56,59	55,05
TA 20	110,16	-7,73	11,55	5,48	0,09	474,90	10,28	139,47
TA 22	110,18	-7,73	3,84	8,94	0,26	497,77	32,44	83,59
TA 24	110,12	-7,74	3,74	5,06	0,27	503,57	33,67	76,60
TA 26	110,14	-7,73	18,50	9,57	0,05	533,26	7,21	175,47
TA 30	110,18	-7,74	10,92	3,11	0,09	533,20	12,20	143,97
TA 32	110,13	-7,74	5,89	6,02	0,17	545,31	23,14	100,33
TA 34	110,18	-7,74	1,77	3,88	0,56	225,16	31,76	58,91
TA T2	110,15	-7,72	1,83	4,52	0,55	483,03	66,17	53,25

Lampiran 2. Uji Kriteria *Reliable* dan *Clear Peak* SESAME European Research Project

Titik Data	f_0 (Hz)	A_0	n_w	Kriteria <i>Reliable</i>			Kriteria <i>Clear Peak</i>					
				i	ii	iii	i	ii	iii	iv	v	vi
11	16,96	12,42	15	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓
37	0,61	2,66	10	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
TA 3	5,11	3,40	15	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
TA 9	3,08	5,94	10	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
TA 11	7,14	5,62	15	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
TA 13	11,04	9,65	12	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
TA 15	13,17	3,86	15	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
TA 17	9,29	6,65	11	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
TA 19	7,63	17,25	15	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TA 21	14,62	11,02	12	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓
TA 23	10,37	4,64	12	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
TA 25	2,92	10,10	15	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓
TA 27	6,03	6,28	13	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
TA 29	18,57	19,11	13	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗
TA KP9	17,44	8,40	10	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
TA KPF	10,59	6,23	13	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
TA T1	0,72	6,24	10	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
TA T3	17,53	11,92	10	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓
TA 2	3,54	12,09	12	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✓
TA 4	3,54	6,20	15	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
TA 6	3,26	6,87	15	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓
TA 8	6,29	7,34	10	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
TA 10	3,56	3,80	10	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓
TA 12	17,64	10,87	15	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓
TA 14	3,55	9,56	11	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
TA 16	2,68	9,56	15	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓
TA 18	1,92	5,59	15	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓
TA 20	11,55	5,48	15	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
TA 22	3,84	8,94	13	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
TA 24	3,74	5,06	11	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓
TA 26	18,50	9,57	14	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
TA 30	10,92	3,11	13	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
TA 32	5,89	6,02	15	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓
TA 34	1,77	3,88	15	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✓
TA T2	1,83	4,52	15	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓

Keterangan syarat:

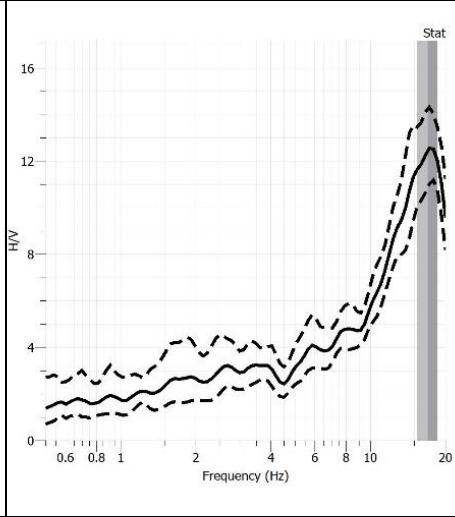
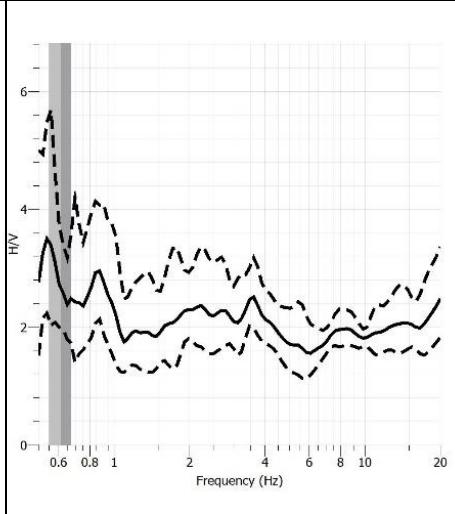
Tanda (✓) menandakan syarat terpenuhi.

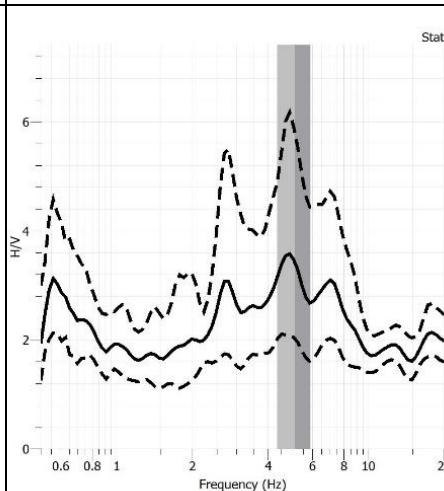
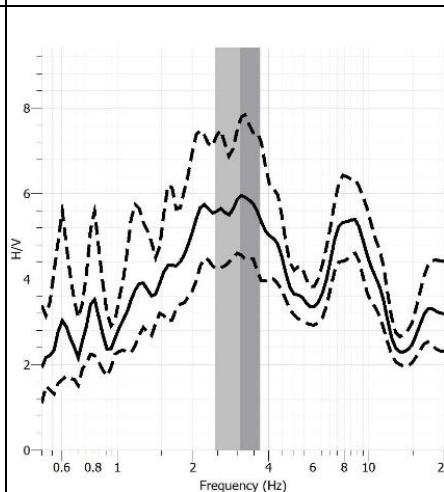
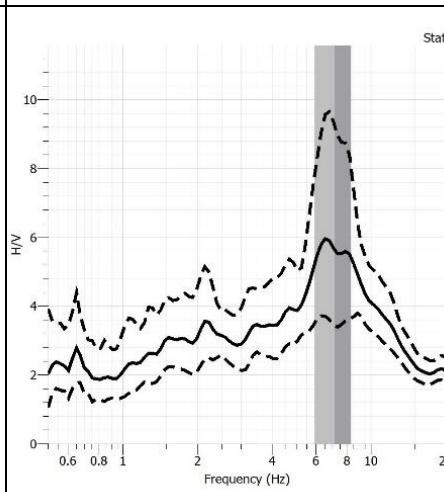
Tanda (✗) menandakan syarat tidak terpenuhi.

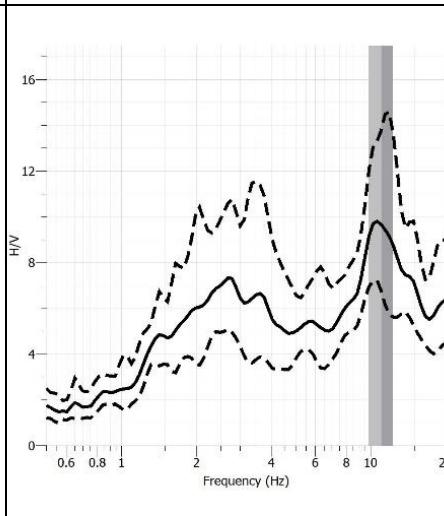
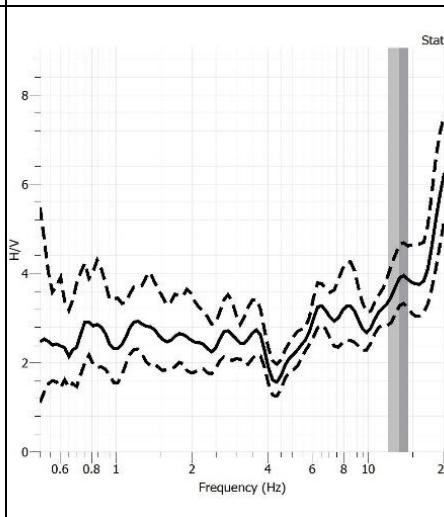
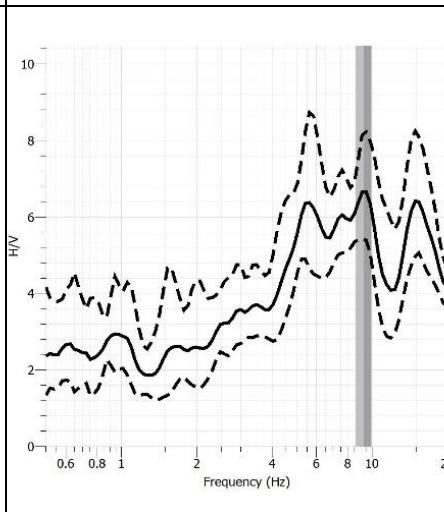
No	Kriteria untuk Kurva HVSR yang <i>Reliable</i>
i	$f_0 > \frac{10}{l_w}$
ii	$n_c(f_0) > 200$
iii	$\sigma A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 > 0.5 \text{ Hz}$ Or $\sigma A(f) < 3 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0 \text{ if } f_0 < 0.5 \text{ Hz}$

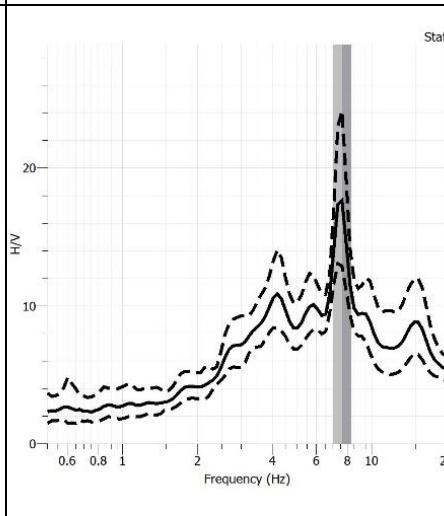
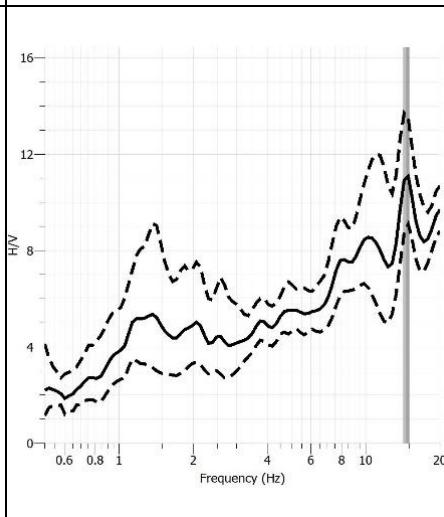
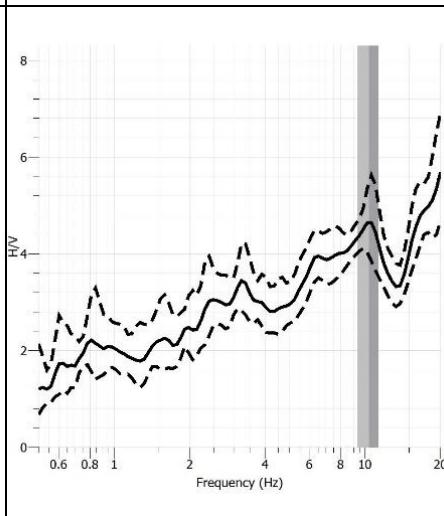
No	Kriteria untuk Kurva HVSR yang <i>Clear Peak</i>
i	$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
ii	$\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
iii	$A_0 > 2$
iv	$f_{peak} \left[\frac{A_H}{v}(f) \pm \sigma A(f) \right] = f_0 \pm 5\%$
v	$\sigma f < \varepsilon(f_0)$
vi	$\sigma A(f_0) < \theta(f_0)$

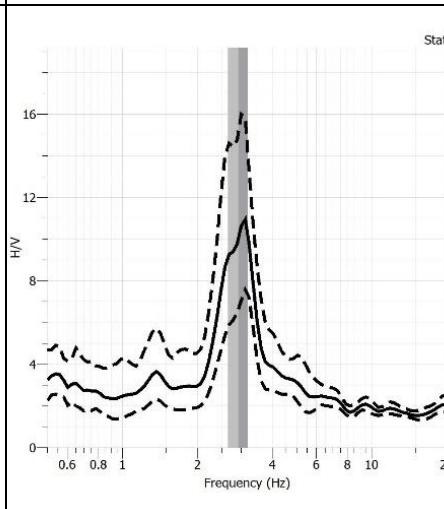
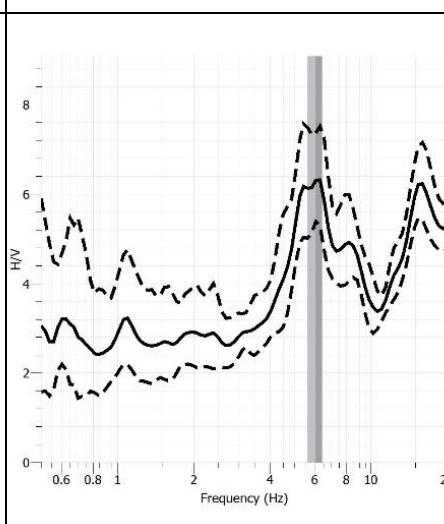
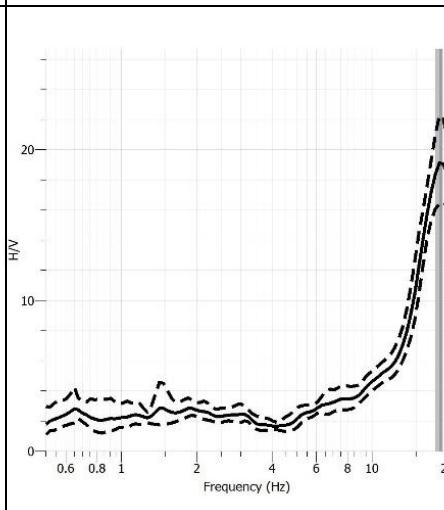
Lampiran 3. Kurva HVSR Analisis Mikrotremor

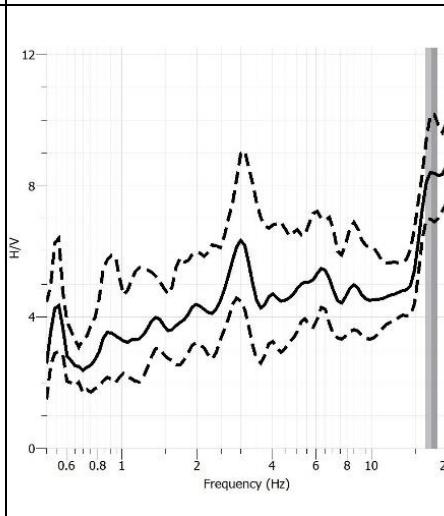
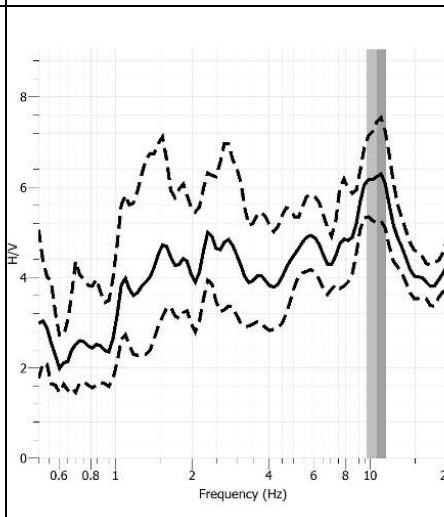
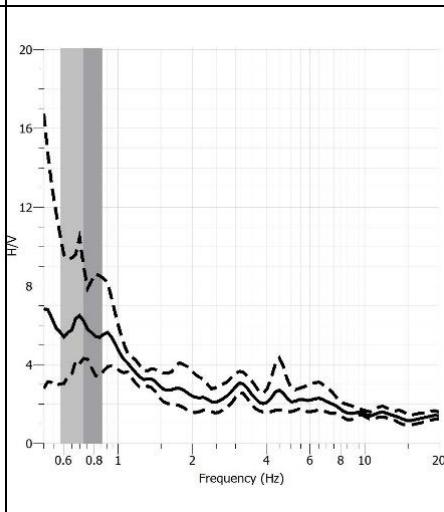
Titik Data	Kurva HVSR	Kriteria
11		$f_0 = 16,96 \text{ Hz}$ $A_0 = 12,42$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $16,92 > 0,50$ ✓ ii. $5088,36 > 200,00$ ✓ iii. $2,80 < 2,00$ ✗ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $6,15 < 6,21$ ✓ ii. $11,54 < 6,21$ ✗ iii. $11,42 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,64 < 4,24$ ✓ vi. $2,80 < 3,00$ ✓
37		$f_0 = 0,61 \text{ Hz}$ $A_0 = 2,66$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $0,61 > 0,50$ ✓ ii. $122,52 > 200,00$ ✗ iii. $0,47 < 2,00$ ✓ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $3,05 < 1,33$ ✗ ii. $2,24 < 1,33$ ✗ iii. $2,66 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,02 < 0,15$ ✓ vi. $0,48 < 3,00$ ✓

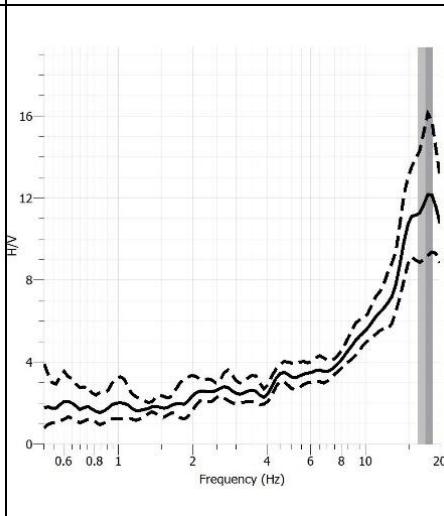
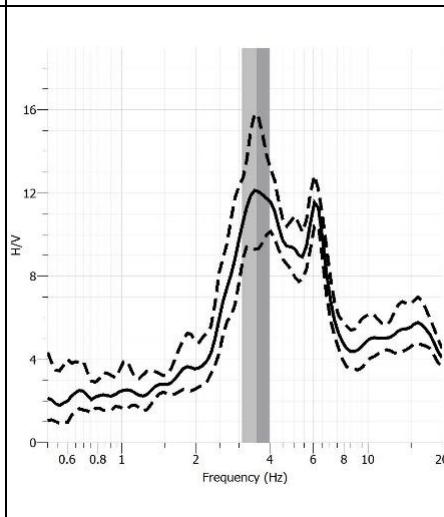
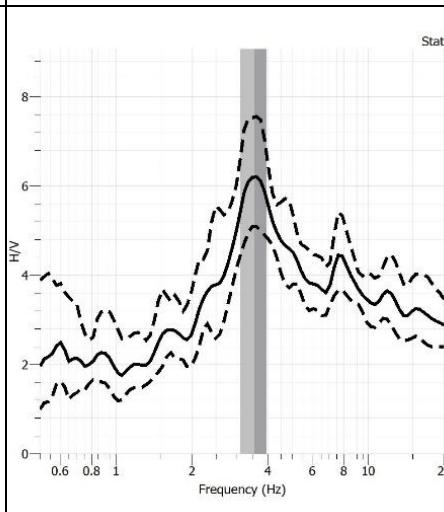
Titik Data	Kurva HVSR	Kriteria
TA 3	 <p>Stat</p>	$f_0 = 5,11 \text{ Hz}$ $A_0 = 3,40$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $5,11 > 0,50$ ✓ ii. $1533,98 > 200,00$ ✓ iii. $0,45 < 2,00$ ✓ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $2,41 < 1,70$ ✗ ii. $2,26 < 1,70$ ✗ iii. $3,40 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,19 < 1,28$ ✓ vi. $0,45 < 3,00$ ✓
TA 9	 <p>Stat</p>	$f_0 = 3,08 \text{ Hz}$ $A_0 = 5,94$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $3,08 > 0,50$ ✓ ii. $615,90 > 200,00$ ✓ iii. $0,84 < 2,00$ ✓ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $4,25 < 2,97$ ✗ ii. $4,50 < 2,97$ ✗ iii. $5,94 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,12 < 0,78$ ✓ vi. $0,84 < 3,00$ ✓
TA 11	 <p>Stat</p>	$f_0 = 7,14 \text{ Hz}$ $A_0 = 5,62$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $7,14 > 0,50$ ✓ ii. $2142,27 > 200,00$ ✓ iii. $0,99 < 2,00$ ✓ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $3,77 < 2,80$ ✗ ii. $3,57 < 2,80$ ✗ iii. $5,62 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,26 < 1,79$ ✓ vi. $0,99 < 3,00$ ✓

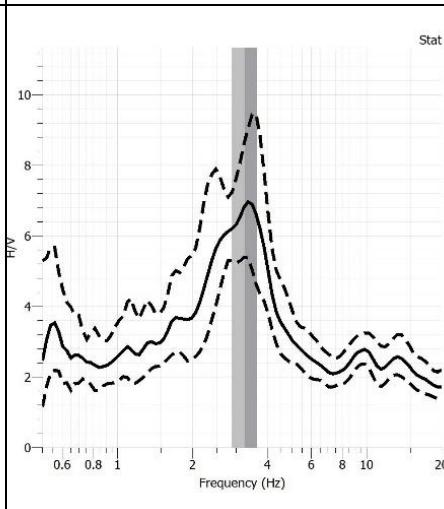
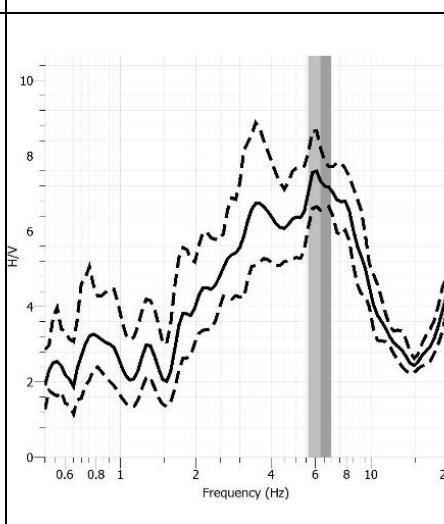
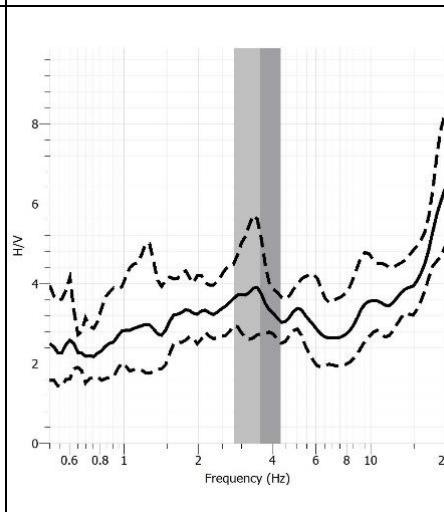
Titik Data	Kurva HVSR	Kriteria
TA 13		$f_0 = 11,04 \text{ Hz}$ $A_0 = 9,65$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $11,04 > 0,50$ ✓ ii. $2650,66 > 200,00$ ✓ iii. $1,55 < 2,00$ ✓ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $6,26 < 4,82$ ✗ ii. $7,24 < 4,82$ ✗ iii. $9,65 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,41 < 2,76$ ✓ vi. $1,54 < 3,00$ ✓
TA 15		$f_0 = 13,17 \text{ Hz}$ $A_0 = 3,86$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $13,17 > 0,50$ ✓ ii. $3952,38 > 200,00$ ✓ iii. $0,85 < 2,00$ ✓ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $2,77 < 1,93$ ✗ ii. $4,41 < 1,93$ ✗ iii. $3,86 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,49 < 3,30$ ✓ vi. $0,85 < 3,00$ ✓
TA 17		$f_0 = 9,29 \text{ Hz}$ $A_0 = 6,65$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $9,29 > 0,50$ ✓ ii. $2044,32 > 200,00$ ✓ iii. $0,73 < 2,00$ ✓ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $4,73 < 3,33$ ✗ ii. $5,31 < 3,33$ ✗ iii. $6,65 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,34 < 2,32$ ✓ vi. $0,73 < 3,00$ ✓

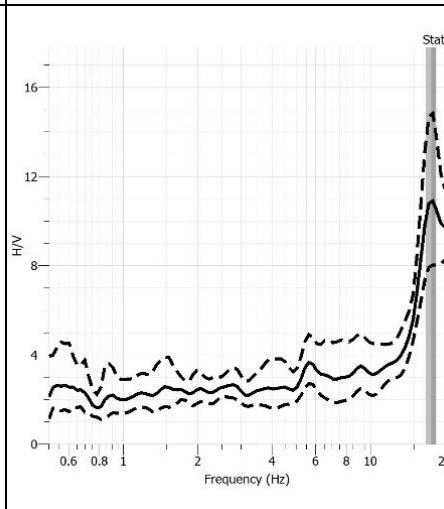
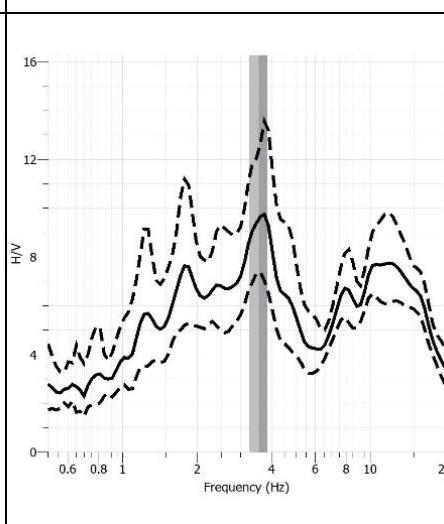
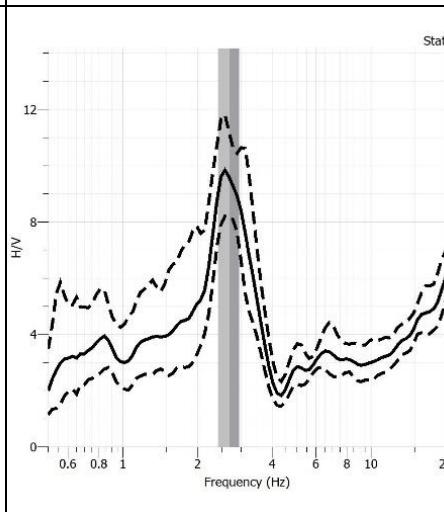
Titik Data	Kurva HVSR	Kriteria
TA 19		$f_0 = 7,63 \text{ Hz}$ $A_0 = 17,25$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $7,63 > 0,50$ ✓ ii. $2289,99 > 200,00$ ✓ iii. $2,53 < 2,00$ ✗ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $8,53 < 8,62$ ✓ ii. $8,44 < 8,62$ ✓ iii. $17,25 > 2,00$ ✓ iv. Terpenuhi ✓ v. $0,28 < 1,91$ ✓ vi. $2,53 < 3,00$ ✓
TA 21		$f_0 = 14,62 \text{ Hz}$ $A_0 = 11,02$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $14,62 > 0,50$ ✓ ii. $3509,23 > 200,00$ ✓ iii. $1,11 < 2,00$ ✓ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $6,81 < 5,51$ ✗ ii. $9,34 < 5,51$ ✗ iii. $11,02 > 2,00$ ✓ iv. Terpenuhi ✓ v. $0,55 < 3,65$ ✓ vi. $1,11 < 3,00$ ✓
TA 23		$f_0 = 10,37 \text{ Hz}$ $A_0 = 4,64$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $10,36 > 0,50$ ✓ ii. $2488,22 > 200,00$ ✓ iii. $0,63 < 2,00$ ✓ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $3,47 < 2,32$ ✗ ii. $4,34 < 2,32$ ✗ iii. $4,64 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,38 < 2,59$ ✓ vi. $0,63 < 3,00$ ✓

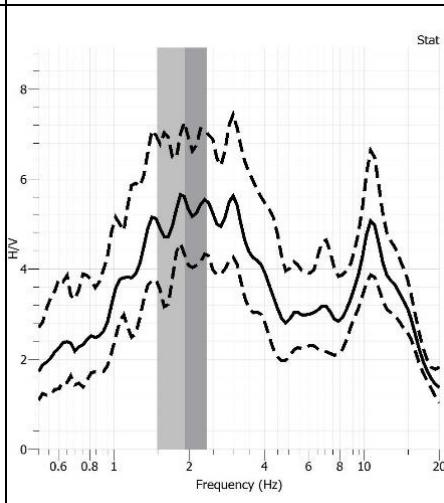
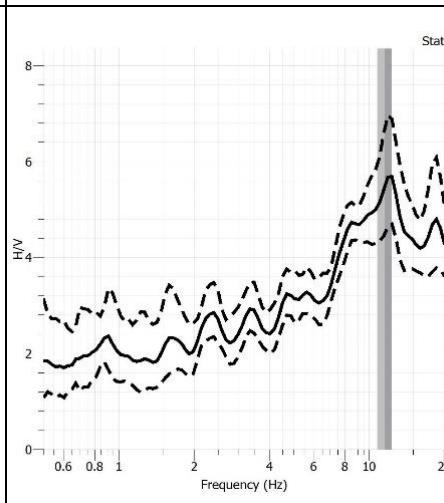
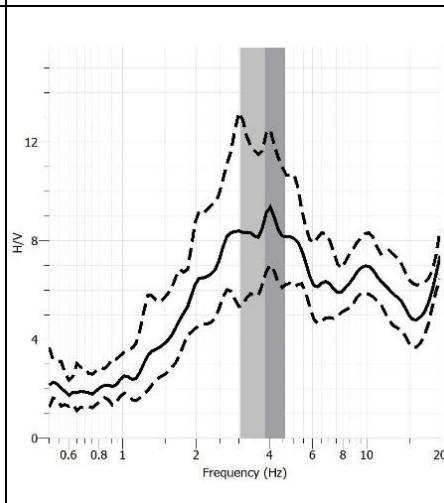
Titik Data	Kurva HVSR	Kriteria
TA 25		$f_0 = 2,92 \text{ Hz}$ $A_0 = 10,10$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $2,92 > 0,50$ ✓ ii. $876,38 > 200,00$ ✓ iii. $2,69 < 2,00$ ✗ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $4,00 < 5,04$ ✓ ii. $3,45 < 5,04$ ✓ iii. $10,09 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,11 < 0,73$ ✓ vi. $2,69 < 3,00$ ✓
TA 27		$f_0 = 6,03 \text{ Hz}$ $A_0 = 6,28$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $6,03 > 0,50$ ✓ ii. $1568,01 > 200,00$ ✓ iii. $1,11 < 2,00$ ✓ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $3,53 < 3,13$ ✗ ii. $4,90 < 3,13$ ✗ iii. $6,27 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,22 < 1,50$ ✓ vi. $1,11 < 3,00$ ✓
TA 29		$f_0 = 18,57 \text{ Hz}$ $A_0 = 19,11$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $18,57 > 0,50$ ✓ ii. $4828,98 > 200,00$ ✓ iii. $5,64 < 2,00$ ✗ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $6,18 < 9,55$ ✓ ii. $18,83 < 9,55$ ✗ iii. $19,11 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,69 < 4,64$ ✓ vi. $5,64 < 3,00$ ✗

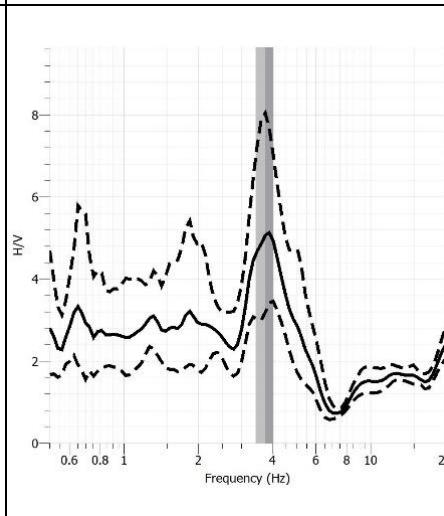
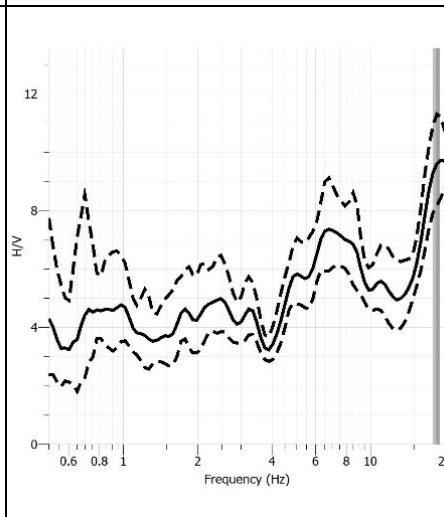
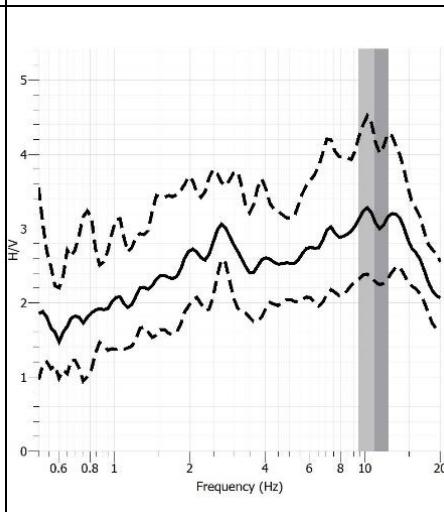
Titik Data	Kurva HVSR	Kriteria
TA KP9		$f_0 = 17,44 \text{ Hz}$ $A_0 = 8,40$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $17,43 > 0,50$ ✓ ii. $3487,62 > 200,00$ ✓ iii. $1,64 < 2,00$ ✓ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $5,10 < 4,20$ ✗ ii. $8,41 < 4,20$ ✗ iii. $8,40 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,64 < 4,36$ ✓ vi. $1,64 < 3,00$ ✓
TA KPF		$f_0 = 10,59 \text{ Hz}$ $A_0 = 6,23$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $10,59 > 0,50$ ✓ ii. $2753,87 > 200,00$ ✓ iii. $0,75 < 2,00$ ✓ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $4,65 < 3,11$ ✗ ii. $4,63 < 3,11$ ✗ iii. $6,23 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,39 < 2,64$ ✓ vi. $0,75 < 3,00$ ✓
TA T1		$f_0 = 0,72 \text{ Hz}$ $A_0 = 6,24$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $0,72 > 0,50$ ✓ ii. $144,81 > 200,00$ ✗ iii. $1,16 < 2,00$ ✓ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $6,12 < 3,12$ ✗ ii. $3,52 < 3,12$ ✗ iii. $6,24 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,02 < 0,18$ ✓ vi. $1,16 < 3,00$ ✓

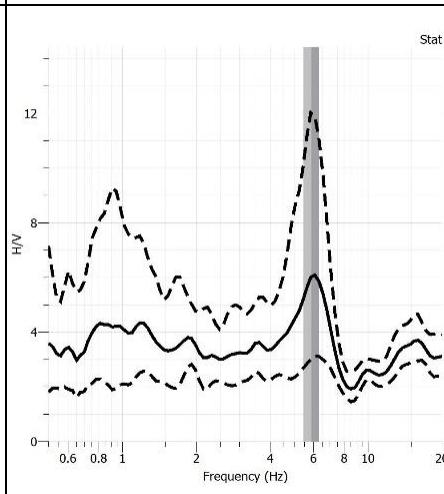
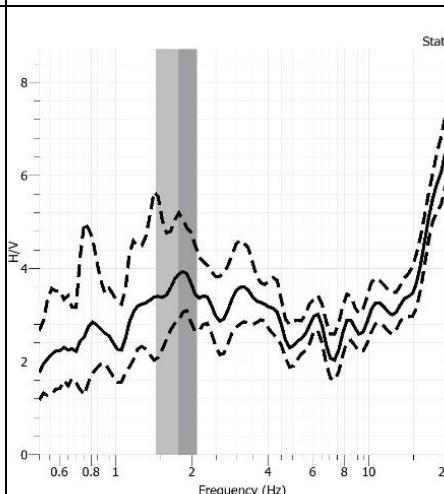
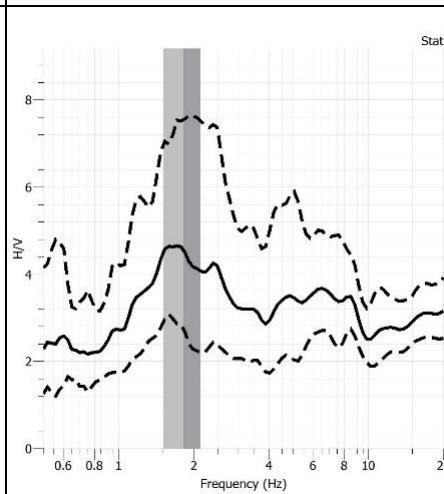
Titik Data	Kurva HVSR	Kriteria
TA T3		$f_0 = 17,53 \text{ Hz}$ $A_0 = 11,92$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $17,52 > 0,50$ ✓ ii. $3505,98 > 200,00$ ✓ iii. $2,67 < 2,00$ ✗ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $5,86 < 5,95$ ✓ ii. $11,66 < 5,95$ ✗ iii. $11,91 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,66 < 4,38$ ✓ vi. $2,67 < 3,00$ ✓
TA 2		$f_0 = 3,54 \text{ Hz}$ $A_0 = 12,09$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $3,54 > 0,50$ ✓ ii. $850,34 > 200,00$ ✓ iii. $2,98 < 2,00$ ✗ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $4,82 < 6,04$ ✓ ii. $7,55 < 6,04$ ✗ iii. $12,08 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,13 < 0,88$ ✓ vi. $2,98 < 3,00$ ✓
TA 4		$f_0 = 3,54 \text{ Hz}$ $A_0 = 6,20$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $3,54 > 0,50$ ✓ ii. $1061,26 > 200,00$ ✓ iii. $1,066 < 2,00$ ✓ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $3,19 < 3,10$ ✗ ii. $4,12 < 3,10$ ✗ iii. $6,20 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,13 < 0,88$ ✓ vi. $1,06 < 3,00$ ✓

Titik Data	Kurva HVSR	Kriteria
TA 6	 <p>Stat</p>	$f_0 = 3,26 \text{ Hz}$ $A_0 = 6,87$ <ol style="list-style-type: none"> Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> $3,26 > 0,50$ ✓ $977,70 > 200,00$ ✓ $1,49 < 2,00$ ✓ Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> $3,82 < 3,43$ ✗ $3,34 < 3,43$ ✓ $6,86 > 2,00$ ✓ Tidak terpenuhi ✗ $0,12 < 0,81$ ✓ $1,49 < 3,00$ ✓
TA 8		$f_0 = 6,29 \text{ Hz}$ $A_0 = 7,34$ <ol style="list-style-type: none"> Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> $6,28 > 0,50$ ✓ $1257,16 > 200,00$ ✓ $1,25 < 2,00$ ✓ Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> $5,50 < 3,67$ ✗ $4,45 < 3,67$ ✗ $7,34 > 2,00$ ✓ Tidak terpenuhi ✗ $0,23 < 1,57$ ✓ $1,25 < 3,00$ ✓
TA 10		$f_0 = 3,56 \text{ Hz}$ $A_0 = 3,80$ <ol style="list-style-type: none"> Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> $3,56 > 0,50$ ✓ $712,69 > 200,00$ ✓ $0,33 < 2,00$ ✓ Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> $3,21 < 1,89$ ✗ $3,22 < 1,89$ ✗ $3,79 > 2,00$ ✓ Terpenuhi ✓ $0,13 < 0,89$ ✓ $0,33 < 3,00$ ✓

Titik Data	Kurva HVSR	Kriteria
TA 12		$f_0 = 17,64 \text{ Hz}$ $A_0 = 10,87$ <ol style="list-style-type: none"> Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> $17,63 > 0,50$ ✓ $5291,79 > 200,00$ ✓ $2,99 < 2,00$ ✗ Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> $4,09 < 5,43$ ✓ $10,24 < 5,43$ ✗ $10,86 > 2,00$ ✓ Tidak terpenuhi ✗ $0,66 < 4,40$ ✓ $2,99 < 3,00$ ✓
TA 14		$f_0 = 3,55 \text{ Hz}$ $A_0 = 9,56$ <ol style="list-style-type: none"> Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> $3,55 > 0,50$ ✓ $782,00 > 200,00$ ✓ $1,57 < 2,00$ ✓ Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> $6,14 < 4,77$ ✗ $6,54 < 4,77$ ✗ $9,55 > 2,00$ ✓ Tidak terpenuhi ✗ $0,13 < 0,88$ ✓ $1,57 < 3,00$ ✓
TA 16		$f_0 = 2,68 \text{ Hz}$ $A_0 = 9,56$ <ol style="list-style-type: none"> Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> $2,68 > 0,50$ ✓ $805,47 > 200,00$ ✓ $2,44 < 2,00$ ✗ Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> $4,65 < 4,77$ ✓ $3,94 < 4,77$ ✓ $9,55 > 2,00$ ✓ Tidak terpenuhi ✗ $0,09 < 0,67$ ✓ $2,44 < 3,00$ ✓

Titik Data	Kurva HVSR	Kriteria
TA 18		$f_0 = 1,92 \text{ Hz}$ $A_0 = 5,59$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $1,92 > 0,50$ ✓ ii. $576,20 > 200,00$ ✓ iii. $0,67 < 2,00$ ✓ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $3,43 < 2,79$ ✗ ii. $4,14 < 2,79$ ✗ iii. $5,58 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,07 < 0,48$ ✓ vi. $0,67 < 3,00$ ✓
TA 20		$f_0 = 11,55 \text{ Hz}$ $A_0 = 5,48$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $11,54 > 0,50$ ✓ ii. $3463,92 > 200,00$ ✓ iii. $0,72 < 2,00$ ✓ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $3,51 < 2,79$ ✗ ii. $4,73 < 2,79$ ✗ iii. $5,47 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,42 < 2,88$ ✓ vi. $0,72 < 3,00$ ✓
TA 22		$f_0 = 3,84 \text{ Hz}$ $A_0 = 8,94$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $3,83 > 0,50$ ✓ ii. $997,37 > 200,00$ ✓ iii. $1,04 < 2,00$ ✓ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $5,58 < 4,47$ ✗ ii. $6,77 < 4,47$ ✗ iii. $8,94 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,14 < 0,95$ ✓ vi. $1,04 < 3,00$ ✓

Titik Data	Kurva HVSR	Kriteria
TA 24		$f_0 = 3,74 \text{ Hz}$ $A_0 = 5,06$ <ul style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $3,73 > 0,50$ ✓ ii. $822,60 > 200,00$ ✓ iii. $1,25 < 2,00$ ✓ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $3,03 < 2,52$ ✗ ii. $2,07 < 2,52$ ✓ iii. $5,06 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,14 < 0,93$ ✓ vi. $1,25 < 3,00$ ✓
TA 26		$f_0 = 18,50 \text{ Hz}$ $A_0 = 9,57$ <ul style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $18,49 > 0,50$ ✓ ii. $5179,10 > 200,00$ ✓ iii. $1,74 < 2,00$ ✓ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $6,33 < 4,78$ ✗ ii. $9,67 < 4,78$ ✗ iii. $9,56 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,69 < 4,62$ ✓ vi. $1,74 < 3,00$ ✓
TA 30		$f_0 = 10,92 \text{ Hz}$ $A_0 = 3,11$ <ul style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $10,92 > 0,50$ ✓ ii. $2840,18 > 200,00$ ✓ iii. $0,32 < 2,00$ ✓ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ul style="list-style-type: none"> i. $2,77 < 1,55$ ✗ ii. $2,74 < 1,55$ ✗ iii. $3,11 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,41 < 2,73$ ✓ vi. $0,32 < 3,00$ ✓

Titik Data	Kurva HVSR	Kriteria
TA 32		$f_0 = 5,89 \text{ Hz}$ $A_0 = 6,02$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $5,89 > 0,50$ ✓ ii. $1767,56 > 200,00$ ✓ iii. $1,19 < 2,00$ ✓ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $3,64 < 3,00$ ✗ ii. $3,30 < 3,00$ ✗ iii. $6,01 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,21 < 1,47$ ✓ vi. $1,19 < 3,00$ ✓
TA 34		$f_0 = 1,77 \text{ Hz}$ $A_0 = 3,88$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $1,77 > 0,50$ ✓ ii. $531,72 > 200,00$ ✓ iii. $0,44 < 2,00$ ✓ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $2,73 < 1,94$ ✗ ii. $3,09 < 1,94$ ✗ iii. $3,87 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,06 < 0,44$ ✓ vi. $0,44 < 3,00$ ✓
TA T2		$f_0 = 1,83 \text{ Hz}$ $A_0 = 4,52$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Kriteria <i>reliable</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $1,82 > 0,50$ ✓ ii. $547,51 > 200,00$ ✓ iii. $0,63 < 2,00$ ✓ 2. Kriteria <i>clear peak</i> <ol style="list-style-type: none"> i. $3,08 < 2,26$ ✗ ii. $3,56 < 2,26$ ✗ iii. $4,52 > 2,00$ ✓ iv. Tidak terpenuhi ✗ v. $0,06 < 0,45$ ✓ vi. $0,63 < 3,00$ ✓

Lampiran 4. Perhitungan Jarak Episenter dan Jarak Hiposenter

Rumus empiris yang digunakan dalam perhitungan jarak episenter ditunjukkan pada persamaan (L1), sedangkan rumus empiris yang digunakan dalam perhitungan jarak hiposenter ditunjukkan pada persamaan (L2).

$$\Delta = \sqrt{(b_{titik} - b_{gempa})^2 + (l_{titik} - l_{gempa})^2} \quad (L1)$$

$$R = \sqrt{\Delta^2 + h} \quad (L2)$$

dengan Δ adalah jarak episenter (km), R adalah jarak hiposenter (km), b adalah garis bujur ($^{\circ}$), l adalah garis lintang ($^{\circ}$), h adalah kedalaman gempa bumi (km), dan 1° sama dengan 111,322 km.

Titik Data	Koordinat Pengukuran		Koordinat Gempa Bumi		Kedalaman (km)	Jarak Episenter (km)	Jarak Hiposenter (km)
	Bujur ($^{\circ}$)	Lintang ($^{\circ}$)	Bujur ($^{\circ}$)	Lintang ($^{\circ}$)			
11	110,16	-7,74	110,32	-8,03	12	37,24	39,12
37	110,16	-7,73	110,32	-8,03	12	37,50	39,38
TA 3	110,14	-7,71	110,32	-8,03	12	40,95	42,67
TA 9	110,13	-7,72	110,32	-8,03	12	40,52	42,26
TA 11	110,15	-7,72	110,32	-8,03	12	39,66	41,43
TA 13	110,17	-7,72	110,32	-8,03	12	38,71	40,53
TA 15	110,19	-7,72	110,32	-8,03	12	38,00	39,85
TA 17	110,13	-7,73	110,32	-8,03	12	39,83	41,60
TA 19	110,15	-7,73	110,32	-8,03	12	38,84	40,66

TA 21	110,17	-7,73	110,32	-8,03	12	37,82	39,68
TA 23	110,19	-7,73	110,32	-8,03	12	36,91	38,81
TA 25	110,13	-7,73	110,32	-8,03	12	38,92	40,73
TA 27	110,15	-7,74	110,32	-8,03	12	37,75	39,61
TA 29	110,17	-7,73	110,32	-8,03	12	36,88	38,79
TA KP9	110,18	-7,72	110,32	-8,03	12	37,38	39,25
TA KPF	110,13	-7,71	110,32	-8,03	12	40,95	42,67
TA T1	110,14	-7,72	110,32	-8,03	12	40,11	41,87
TA T3	110,16	-7,72	110,32	-8,03	12	38,34	40,17
TA 2	110,13	-7,71	110,32	-8,03	12	41,56	43,26
TA 4	110,15	-7,71	110,32	-8,03	12	40,47	42,21
TA 6	110,17	-7,71	110,32	-8,03	12	39,68	41,45
TA 8	110,12	-7,72	110,32	-8,03	12	41,16	42,87
TA 10	110,14	-7,71	110,32	-8,03	12	40,29	42,04
TA 12	110,16	-7,72	110,32	-8,03	12	39,28	41,07
TA 14	110,18	-7,72	110,32	-8,03	12	38,33	40,17
TA 16	110,12	-7,73	110,32	-8,03	12	40,36	42,10
TA 18	110,14	-7,73	110,32	-8,03	12	39,39	41,18
TA 20	110,16	-7,73	110,32	-8,03	12	38,33	40,17
TA 22	110,18	-7,73	110,32	-8,03	12	37,09	38,99
TA 24	110,12	-7,74	110,32	-8,03	12	39,48	41,26
TA 26	110,14	-7,73	110,32	-8,03	12	38,52	40,35
TA 30	110,18	-7,74	110,32	-8,03	12	36,46	38,38
TA 32	110,13	-7,74	110,32	-8,03	12	38,11	39,95
TA 34	110,18	-7,74	110,32	-8,03	12	35,97	37,92
TA T2	110,15	-7,72	110,32	-8,03	12	39,64	41,42

Lampiran 5. Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA)

Rumus empiris untuk menghitung nilai percepatan getaran tanah menggunakan metode Kanai (1966) ditunjukkan pada persamaan (14).

Titik Data	T_g (sekon)	Magnitudo (SR)	Jarak Hiposenter (km)	PGA (cm/s²)
11	0,06	5,9	37,24	174,96
37	1,63	5,9	37,50	32,97
TA 3	0,20	5,9	40,95	85,68
TA 9	0,32	5,9	40,52	67,35
TA 11	0,14	5,9	39,66	105,28
TA 13	0,09	5,9	38,71	134,80
TA 15	0,08	5,9	38,00	150,53
TA 17	0,11	5,9	39,83	119,46
TA 19	0,13	5,9	38,84	111,61
TA 21	0,07	5,9	37,82	159,47
TA 23	0,10	5,9	36,91	138,25
TA 25	0,34	5,9	38,92	68,88
TA 27	0,17	5,9	37,75	102,67
TA 29	0,05	5,9	36,88	185,17
TA KP9	0,06	5,9	37,38	176,63
TA KPF	0,09	5,9	40,95	123,32
TA T1	1,38	5,9	40,11	33,07
TA T3	0,06	5,9	38,34	171,83
TA 2	0,28	5,9	41,56	70,03
TA 4	0,28	5,9	40,47	72,29
TA 6	0,31	5,9	39,68	71,08
TA 8	0,16	5,9	41,16	94,41
TA 10	0,28	5,9	40,29	72,96
TA 12	0,06	5,9	39,28	167,41
TA 14	0,28	5,9	38,33	77,38
TA 16	0,37	5,9	40,36	63,20
TA 18	0,52	5,9	39,39	55,05
TA 20	0,09	5,9	38,33	139,47
TA 22	0,26	5,9	37,09	83,59
TA 24	0,27	5,9	39,48	76,60
TA 26	0,05	5,9	38,52	175,47
TA 30	0,09	5,9	36,46	143,97
TA 32	0,17	5,9	38,11	100,33
TA 34	0,56	5,9	35,97	58,91
TA T2	0,55	5,9	39,64	53,25

**Lampiran 6. Data Kejadian Tanah Longsor dari tahun 2008 sampai tahun 2016 di Desa Purwosari
(BPBD Kulon Progo, 2017)**

No	Waktu Kejadian			Dusun	Keterangan	Jumlah
	Tanggal	Bulan	Tahun			
1	5	1	2008	Kedungtawang	Dinding kayu, tiang rumah rusak.	2
2	5	1	2008	Karangrejo	Rumah kelongsoran tanah.	1
3	8	1	2008	Ngroto	Tanah longsor menimpa sebagian rumah.	1
4	9	3	2008	Prankokan	Rumah kelongsoran tanah.	1
5	9	3	2008	Tegalsari	Rumah kelongsoran tanah.	1
6	9	3	2008	Patihombo	Rumah kelongsoran tanah.	1
7	7	4	2008	Nogosari	Rumah kelongsoran tanah.	2
8	8	11	2008	Wonosari	Tanah longsor dan batuan masuk halaman dan teras TK purwosari, dengan panjang 30 meter dan tinggi 5 meter.	1
9	22	11	2008	Wonosari	Bangketan longsor menimpa rumah dengan panjang 8 meter, lebar 4 meter, dan tinggi 4 meter.	3
10	22	11	2008	Ngroto	Tanah longsor menimpa jalan aspal.	3
11	22	11	2008	Prangkukan	Tanah longsor menimpa sebagian rumah.	2
12	22	11	2008	Patihombo	Tanah longsor menimpa sebagian rumah.	1
13	22	11	2008	Gedong	Tanah longsor menimpa sebagian rumah.	1
14	22	11	2008	Sabrangkidul	Tanah longsor menimpa sebagian rumah.	2
15	22	11	2008	Kedungtawang	Tanah longsor menimpa sebagian rumah.	1
16	22	11	2008	Karangrejo	Tanah longsor menimpa sebagian rumah, tanah di depan rumah retak, dan pondasi putus.	2
17	13	2	2009	Karangrejo	Tanah longsor menimpa dinding tiang rumah rusak.	1
18	18	11	2009	Gedong	Tanah longsor menghantam rumah, dinding, tiang kayu rusak.	2

No	Waktu Kejadian			Dusun	Keterangan	Jumlah
	Tanggal	Bulan	Tahun			
19	21	11	2009	Penggung	Dinding rusak dan tiang kayu rusak.	3
20	30	11	2009	Ponces	Pagar depan sekolah roboh dan talud jebol seluas 125 meter.	1
21	26	1	2010	Penggung	Halaman rumah satu sisi hancur, tebing setinggi 7 meter panjang 8 meter, longsor menimpa halaman rumah.	1
22	5	2	2010	Nogosari	Longsoran tanah masuk ke teras rumah, rumah kelongsoran tanah, panjang 8 meter dan tinggi 6 meter.	1
23	7	3	2010	Ngaglik	Kelongsoran.	3
24	7	3	2010	Wonosari	Kelongsoran.	3
25	7	3	2010	Ngroto	Sayap sebelah kanan longsor sehingga tidak dapat mengairi sawah di wilayah tersebut.	2
26	7	3	2010	Patihombo	Kelongsoran.	2
27	7	3	2010	Tegalsari	Kelongsoran.	1
28	7	3	2010	Sabrangkidul	Kelongsoran.	1
29	7	3	2010	Gedong	Kelongsoran.	1
30	7	3	2010	Kedungtawang	Kelongsoran.	2
31	7	3	2010	Karangrejo	Kelongsoran.	3
32	7	3	2010	Ponces	Dinding kayu dan tiang rumah rusak.	1
33	7	3	2010	Nogosari	Kelongsoran.	2
34	29	5	2010	Sabrangkidul	Pondasi rumah longsor dan perlu pindah tempat.	1
35	5	10	2010	Penggung	Rumah tertimpa pohon kelapa.	2
36	18	10	2010	Nogosari	2 Titik Longsor di jalan, ukuran panjang 8 meter dan tinggi 4 meter, dan tiang listrik miring.	2
37	20	12	2010	Ponces	Ancaman tanah longsor (retakan tanah) di persawahan akibat hujan deras, panjang 200 meter dan lebar 15 meter, penurunan 8 meter sehingga mengancam korban.	1

No	Waktu Kejadian			Dusun	Keterangan	Jumlah
	Tanggal	Bulan	Tahun			
38	23	1	2011	Nogosari	Tanah longsor dengan panjang 7 meter dan 3 meter dan tanah menghantam rumah.	1
39	23	1	2011	Ngaglik	Jalan aspal longsor separuh badan.	2
40	22	2	2011	Karangrejo	Tebing panjang 10 meter dan tinggi 12 meter, longsor menimpa dinding rumah, masih ada retakan tanah panjang 30 meter yang mengancam.	1
41	25	2	2011	Ngaglik	Hujan deras tanggal 24 – 26 Februari menyebabkan tanah longsor.	1
42	25	2	2011	Wonosari	Hujan deras tanggal 24 – 26 Februari menyebabkan tanah longsor.	1
43	25	2	2011	Ponces	Hujan deras tanggal 24 – 26 Februari menyebabkan tanah longsor.	2
44	25	2	2011	Kedung Tawang	Hujan deras tanggal 24 – 26 Februari menyebabkan tanah longsor.	1
45	26	2	2011	Gedong	Hujan deras tanggal 24 – 26 Februari menyebabkan tanah longsor.	1
46	26	2	2011	Wonosari	Hujan deras tanggal 24 – 26 Februari menyebabkan tanah longsor.	1
47	26	2	2011	Nogosari	Hujan deras tanggal 24 – 26 Februari menyebabkan tanah longsor.	1
48	1	1	2012	Tegalsari	Terjadi longsor akibat hujan deras yang mengguyur sejak 1 – 2 Januari 2012.	1
49	1	1	2012	Patihombo	Terjadi longsor akibat hujan deras yang mengguyur sejak 1 – 2 Januari 2012.	1
50	1	1	2012	Nogosari	Terjadi longsor akibat hujan deras yang mengguyur sejak 1 – 2 Januari 2012.	1
51	1	1	2012	Penggung	Jalan aspal tertutup longsor panjang 10 meter dan tinggi 5 meter, togor roboh memutus kabel listrik.	1
52	10	3	2012	Tegalsari	Hujan deras mengakibatkan longsor dan rumah tertimpa longsor akibat tebing samping rumah.	1
53	2	12	2012	Nogosari	Hujan deras, rumah terkena longsoran panjang 10 meter dan tinggi 4 meter mengenai pekarangan rumah.	2

No	Waktu Kejadian			Dusun	Keterangan	Jumlah
	Tanggal	Bulan	Tahun			
54	2	12	2012	Ponces	Hujan deras, rumah terkena longsoran 10 meter dan tinggi 4 meter mengenai pekarangan rumah.	1
55	2	12	2012	Patihombo	Hujan deras mengakibatkan longsor.	1
56	2	12	2012	Tegalsari	Hujan deras mengakibatkan longsor.	1
57	2	12	2012	Ngroto	Hujan deras mengakibatkan longsor.	2
58	2	1	2013	Patihombo	Halaman SD Kanisius terkena longsoran.	1
59	3	1	2013	Sabrangkidul	Rumah terkena longsoran, teras roboh, dinding rumah rusak	1
60	3	1	2013	Ponces	Talud rumah longsor.	1
61	3	1	2013	Ngroto	Rumah rusak dan pekarangan terkena longsoran.	1
62	8	1	2013	Gedong	Jalan retak sepanjang 150 meter.	1
63	8	1	2013	Kedungtawang	Tanah longsor menimpa jalan.	1
64	4	4	2013	Prankokan	Sebagian bangunan rumah rusak dan pekarangan tertimbun longsoran.	1
65	21	12	2013	Karangrejo	Tanah longsor menimpa rumah tinggal.	1
66	21	12	2013	Gedong	Tanah longsor menimpa jalan dusun.	1
67	21	12	2013	Patihombo	Tanah longsor menimpa rumah tinggal.	1
68	21	12	2013	Sabrangkidul	Tanah longsor menimpa jalan dusun dan dinding rumah tinggal.	1
69	5	11	2014	Ngaglik	Tanah longsor menimpa rumah tinggal.	1
70	5	11	2014	Prangkukan	Badan jalan longsor.	1
71	5	11	2014	Patihombo	Tanah longsor menutup ruas jalan.	1
72	5	11	2014	Gedong	Tanah longsor menutup jalan desa.	1
73	1	12	2014	Tegalsari	Tanah longsor menimpa ruas jalan dan badan jalan longsor.	2
74	1	12	2014	Patihombo	Tanah longsor menimpa rumah warga.	1
75	1	12	2014	Ponces	Tanah longsor menimpa rumah warga.	1
76	20	12	2014	Ponces	Tanah longsor menutup jalan desa.	1

No	Waktu Kejadian			Dusun	Keterangan	Jumlah
	Tanggal	Bulan	Tahun			
77	20	12	2014	Kedung Tawang	Tanah longsor menutup jalan kabupaten.	1
78	22	12	2014	Nogosari	Tanah longsor menutup jalan dusun.	1
79	22	12	2014	Ngroto	Tanah longsor menutup jalan kabupaten.	1
80	22	12	2014	Gedong	Tanah longsor dan retak mengancam rumah warga.	2
81	27	12	2014	Gedong	Tanah longsor menutup jalan desa.	1
82	28	12	2014	Nogosari	Tanah longsor dan pohon tumbang menghancurkan 1 rumah tinggal.	1
83	3	3	2015	Penggung	Tanah longsor merusak jalan kabupaten.	1
84	22	3	2015	Gedong	Tanah longsor menimpa jalan kabupaten, tanah longsor menimpa rumah tinggal.	3
85	22	3	2015	Patihombo	Tanah longsor menimpa jalan kabupaten, tanah longsor menimpa rumah tinggal.	1
86	22	3	2015	Karangrejo	Tanah longsor menimpa jalan kabupaten.	1
87	22	3	2015	Kedung Tawang	Tanah longsor menimpa jalan kabupaten.	2
88	22	3	2015	Ngaglik	Tanah longsor menimpa jalan lingkungan.	2
89	22	3	2015	Wonosari	Tanah longsor menimpa jalan lingkungan.	1
90	22	3	2015	Ngroto	Tanah longsor menimpa jalan lingkungan, tanah longsor menimpa rumah tinggal.	4
91	22	3	2015	Penggung	Tanah longsor menimpa rumah tinggal.	1
92	22	3	2015	Ponces	Tanah longsor menimpa rumah tinggal.	2
93	25	3	2015	Nogosari	Tanah longsor, retak dan bergerak, tanah longsor dan retak mengancam 16 kepala keluarga.	1
94	23	4	2015	Nogosari	Tinggi longsoran 10 meter, panjang 7 meter, terdapat satu rumah.	1

No	Waktu Kejadian			Dusun	Keterangan	Jumlah
	Tanggal	Bulan	Tahun			
95	11	2	2016	Gedong	Tanah longsor mengenai dinding rumah, tidak ada korban jiwa, kejadian pada pukul 7.30 WIB.	1
96	11	4	2016	Gedong	Rumah terkena longsoran tinggi 6 meter dan panjang 5 meter kejadian pukul 14.00 WIB, longsor menutup jalan desa.	3
97	11	4	2016	Ngroto	Rumah terkena longsoran, longsor menutup jalan desa.	3
98	11	4	2016	Ngaglik	Masjid terkena longsoran dengan tinggi 10 meter, lebar 11 meter dan Tebal: 3 m, longsor menutup jalan dusun dengan tinggi 4 meter dan panjang 6 meter.	4
99	11	4	2016	Kedungtawang	Jalan longsor sampai aspalan dengan panjang 20 meter dan tebal 3 meter.	1
100	11	4	2016	Patihombo	Longsor sampai samping rumah dengan tinggi 4 meter dan lebar 2 meter, longsor menutup jalan desa.	2
101	11	4	2016	Wonosari	Longsor menutup jalan dusun dengan tinggi 6 meter dan panjang 12 meter.	1
102	11	4	2016	Prangkukan	Longsor menghanyutkan kandang dengan tinggi 30 meter, panjang 10 meter, longsor menutup jalan lingkungan, serta jalan kabupaten.	1
103	18	6	2016	Ngaglik	Tanah longsor menimpa kandang, dan menutup jalan lingkungan.	2
104	18	6	2016	Kedungtawang	Jalan tertimbun material longsoran.	2
105	18	6	2016	Prangkukan	Jalan tertimbun material longsoran dengan tinggi 8 meter, dan lebar 5 meter.	1
106	18	6	2016	Wonosari	Jalan tertimbun material longsoran.	1
107	18	6	2016	Penggung	Tanah longsor menimpa dinding rumah (rusak sedang).	1
108	29	9	2016	Sabrangkidul	Tanah longsor mengancam Jalan Provinsi Tegalsari-Kenteng Nanggulan serta 3 rumah warga.	1
109	2	10	2016	Ngroto	Bangketan longsor.	1
110	8	10	2016	Ngroto	Jalan tidak bisa dilewati kendaraan roda 4.	1

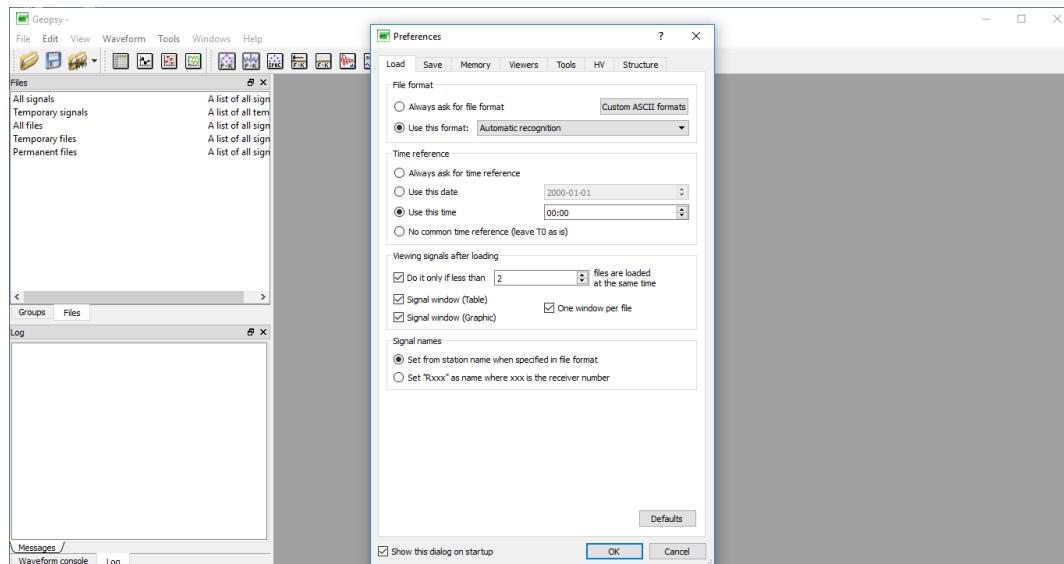
No	Waktu Kejadian			Dusun	Keterangan	Jumlah
	Tanggal	Bulan	Tahun			
111	2	11	2016	Nogosari	Tanah longsor dengan panjang 15 m, tinggi 5 m kejadian pukul 01:00 WIB, longsor menutup jalan desa.	1
112	5	11	2016	Prangkukan	Terjadi hujan lebat mengakibatkan tanah longsor mengenai rumah.	1
113	23	11	2016	Sabrangkidul	Tanah longsor menutup jalan lingkungan.	1
114	24	11	2016	Ngroto	Terjadi hujan deras mengakibatkan tebing longsor di samping rumah menyebabkan terjadi rekahan di dapur.	1
115	2	12	2016	Nogosari	Terjadi hujan menyebabkan tanah longsor.	1
Jumlah kejadian tanah longsor						163

Lampiran 7. Pengolahan Data

A. Pengolahan Data Mikrotremor Menggunakan *Sesarray Geopsy*

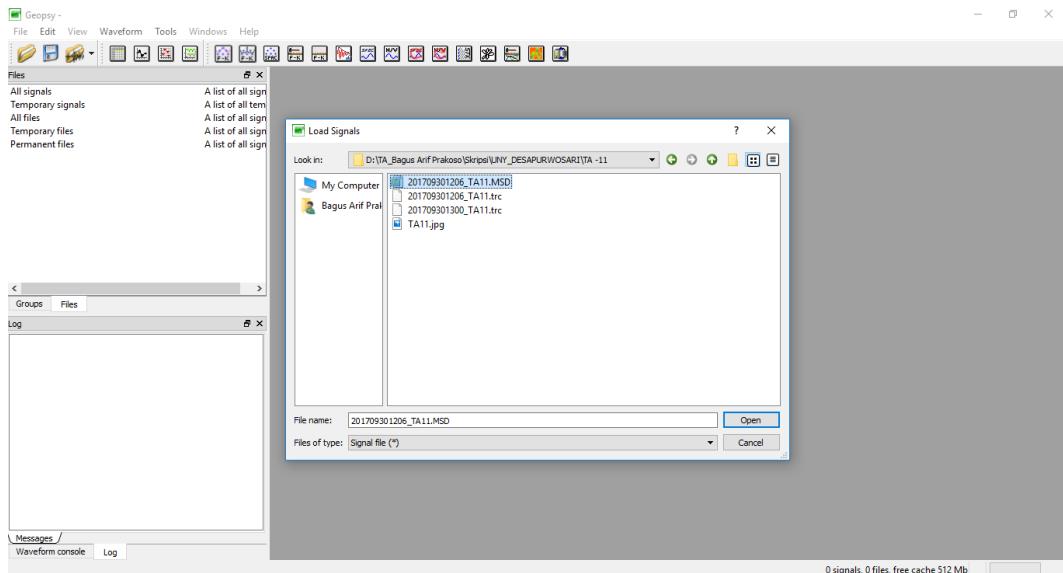
Proses pengolahan data mikrotremor menggunakan *Sesarray Geopsy* bertujuan untuk melakukan *cutting* sinyal tanpa *noise* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Membuka *Sesarray Geopsy*, sehingga akan muncul tampilan seperti Gambar L1.



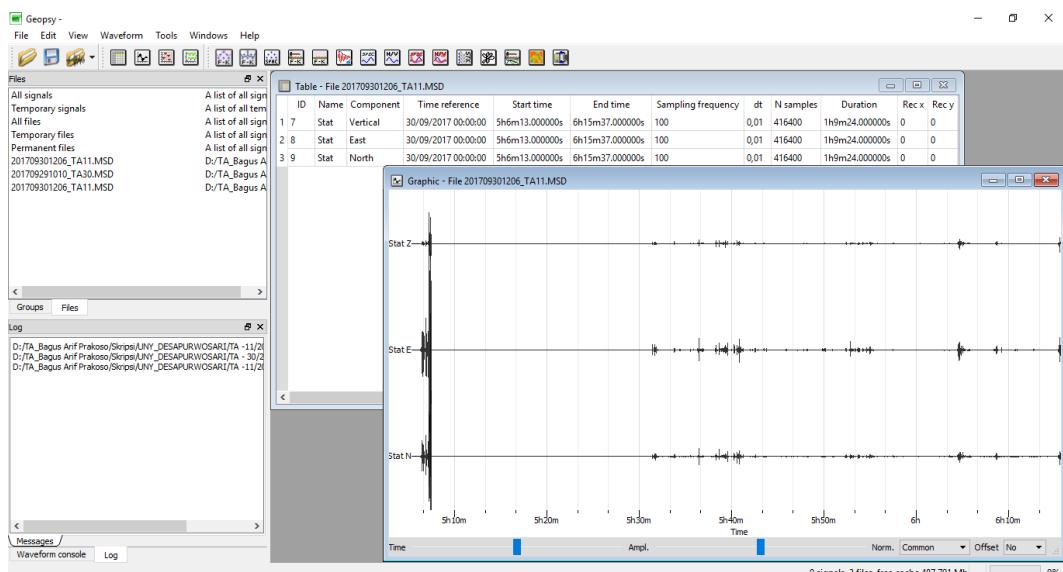
Gambar L1. Tampilan awal *Sesarray Geopsy*.

2. Klik OK pada jendela *Preferences*.
3. Pada menu *File* pilih *import signals* maka akan muncul tampilan jendela *load signals* tempat *file* data mikrotremor tersedia. Pilih *file* dalam format MINISEED (.MSD), kemudian klik *Open*, maka akan muncul tampilan seperti Gambar L2.



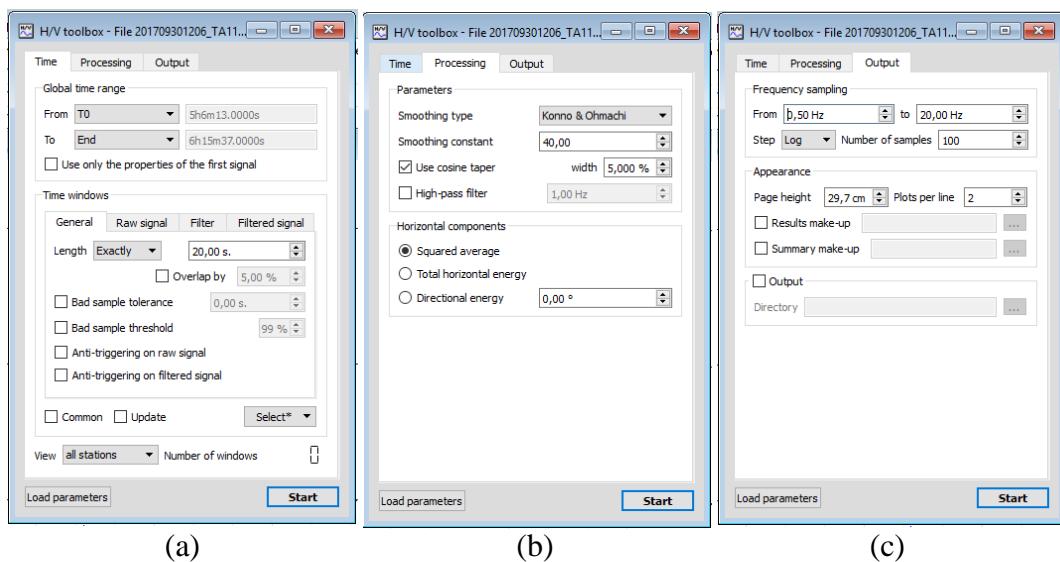
Gambar L2. Tampilan proses memasukkan data format .MSD.

4. File yang dibuka akan memunculkan 2 tampilan jendela, yaitu *Table* berisi data tiga komponen sinyal (*Vertical*, *East*, dan *North*), dan *Graphic* yang merupakan hasil pengukuran yang terdiri dari tiga komponen sinyal yang masih mengandung *noise* seperti yang ditunjukkan pada Gambar L3.



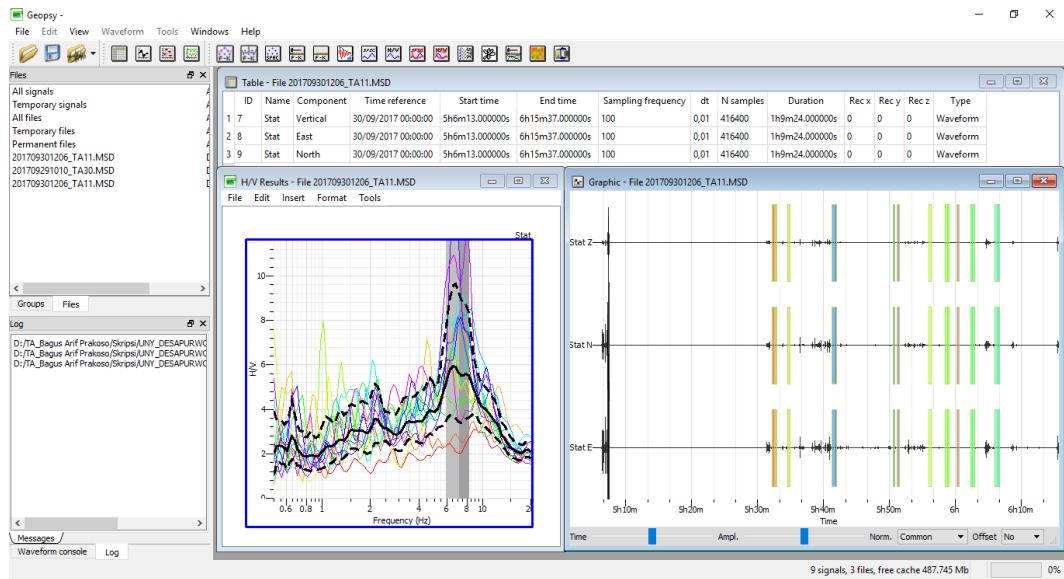
Gambar L3. Tampilan *Table* dan *Graphic*.

5. Pada menu *Tools* pilih *H/V* maka akan muncul jendela *H/V toolbox* yang terdapat tiga pilihan kolom yaitu *Time*, *Processing*, dan *Output*.
- Pada kolom *Time* atur *length windows exactly* 20,00 sekon dan pada kolom *Select* pilih *Add* untuk melakukan pemilihan sinyal tanpa *noise* seperti yang ditunjukkan pada Gambar L4(a) .
 - Pada kolom *Processing* atur *Smoothing type* Konno & Ohmachi dan *Squared average* seperti yang ditunjukkan pada Gambar L4(b).
 - Pada kolom *Output* atur *Frequency sampling* mulai dari 0,50 – 20,00 Hz dengan *Number of samples* 100 seperti yang ditunjukkan pada Gambar L4(c).



Gambar L4. Tampilan *H/V toolbox*, (a) *Time*, (b) *Processing*, (c) *Output*.

Setelah mengatur ketiga kolom pada jendela *H/V toolbox*, klik *Start*. Jendela *H/V Result* akan tampil dan pada jendela *Graphic* tiga komponen sinyal akan terwindow-kan berdasarkan sinyal tanpa *noise* yang ditandai dengan pengelompokan spektrum warna seperti yang ditunjukkan pada Gambar L5.

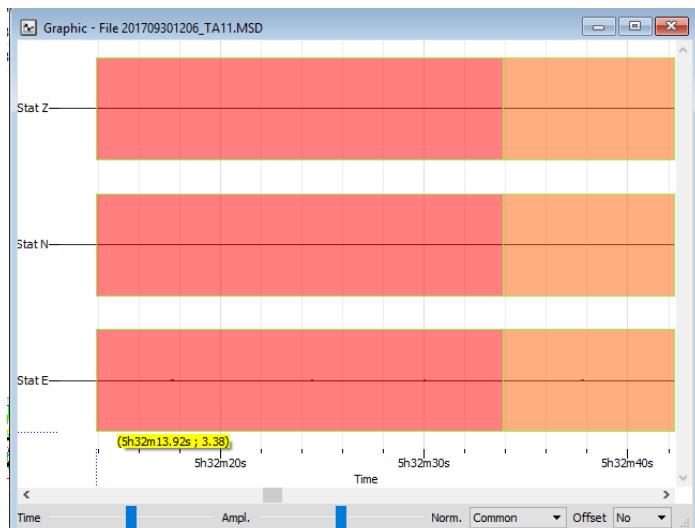


Gambar L5. Hasil *windowing* sinyal tanpa *noise*.

6. Pada jendela *Graphic*, setiap *window* menunjukkan durasi selama 20,00 sekon.

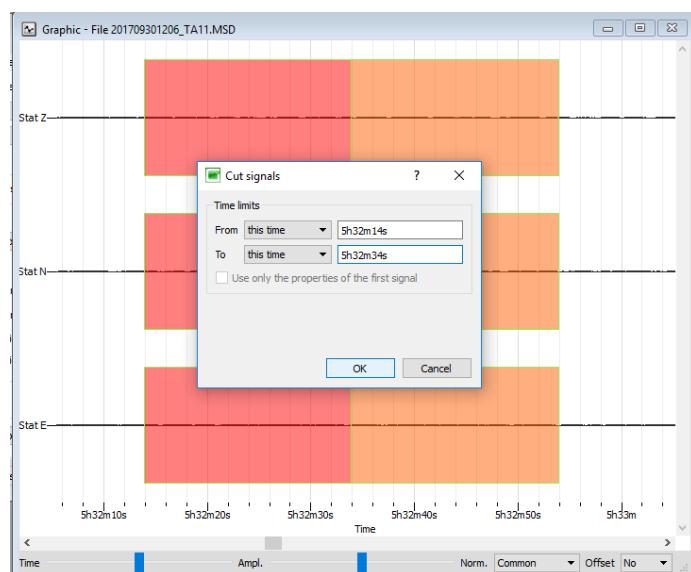
Setiap *window* memiliki waktu awal dan akhir. Untuk mengetahui waktu awal setiap *window*, klik kanan pada sinyal, pilih *zoom*, tarik *pointer select* pada awal mulai pergantian warna untuk memperbesar tampilan sampai garis waktu berada tepat lurus dengan awal mulai *window* seperti yang ditunjukkan pada

Gambar L6.



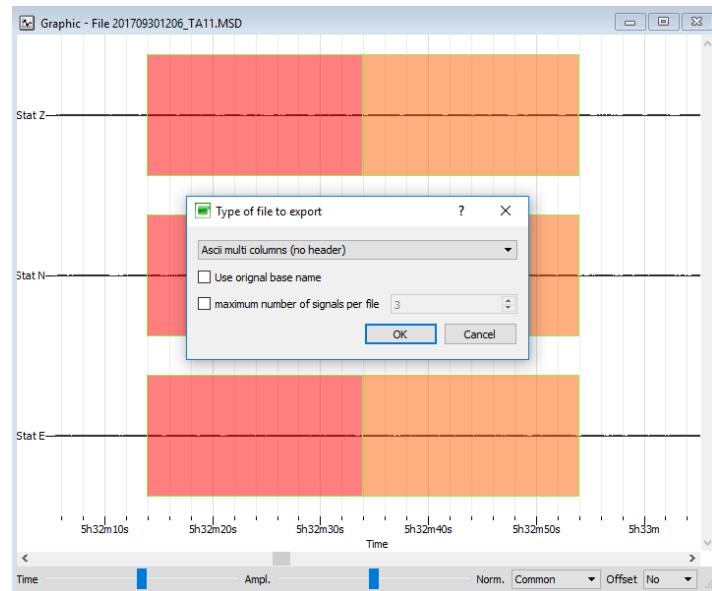
Gambar L6. Waktu awal setiap *window*.

7. Setelah mencatat waktu awal setiap *window* sejumlah banyaknya *window*, pilih Waveform, klik *cut* sehingga menampilkan jendela *Cut signals*. Atur *Time limits From this time* dan *To this time*. Tuliskan waktu awal mulai *window* pada *Time limits From this time* dan hasil jumlahkan 20 sekon dengan waktu awal mulai *window* pada *Time limits To this time* seperti yang ditunjukkan pada Gambar L7. Kemudian klik OK.



Gambar L7. Proses *cutting* sinyal.

8. Simpan hasil *cutting* sinyal dalam format *file .xls* dengan cara meng-*export* hasil *cutting* sinyal tersebut. Caranya, pada menu *File* pilih *Export* maka akan muncul jendela *Type of file to export* seperti yang ditunjukkan pada Gambar L8. Pilih format *Ascii multi columns* kemudian klik OK. Pilih lokasi penyimpanan, kemudian beri nama dan klik *Save*. Lakukan langkah 7 dan 8 untuk setiap *window* dan ulangi langkah 3 sampai 8 untuk data yang lainnya.

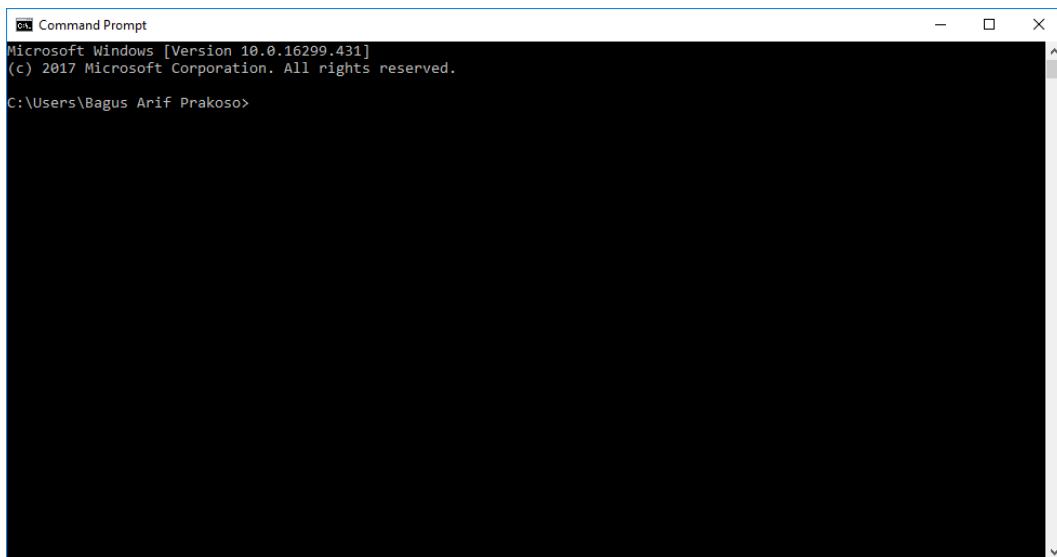


Gambar L8. Proses *export* sinyal tanpa *noise*.

B. Penggabungan Sinyal Hasil *Cutting* menggunakan *Command Prompt*

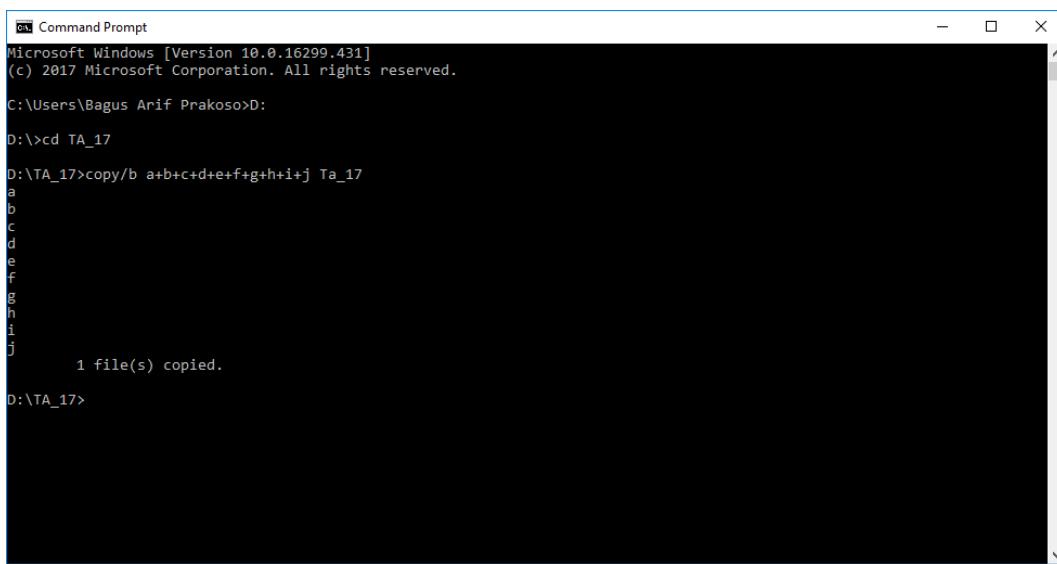
Proses penggabungan sinyal hasil *cutting* menggunakan *Command Prompt* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Buka *Command Prompt*, sehingga akan muncul tampilan seperti Gambar L9.



Gambar L9. Tampilan awal *Command Prompt*.

2. Masukkan nama folder penyimpanan *file* hasil *cutting* dengan format “cd nama folder”, kemudian tekan *enter*.
3. Masukkan name *file* hasil dengan format “copy/b<spasi>nama *file*<spasi>nama *file* baru (nama untuk data sinyal yang sudah digabungkan)”, kemudian tekan *enter*. Data sinyal yang sudah digabungkan akan disimpan secara otomatis pada folder hasil *cutting*.



```
Command Prompt
Microsoft Windows [Version 10.0.16299.431]
(c) 2017 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\Bagus Arif Prakoso>D:
D:\>cd TA_17
D:\TA_17>copy/b a+b+c+d+e+f+g+h+i+j Ta_17
a
b
c
d
e
f
g
h
i
j
      1 file(s) copied.

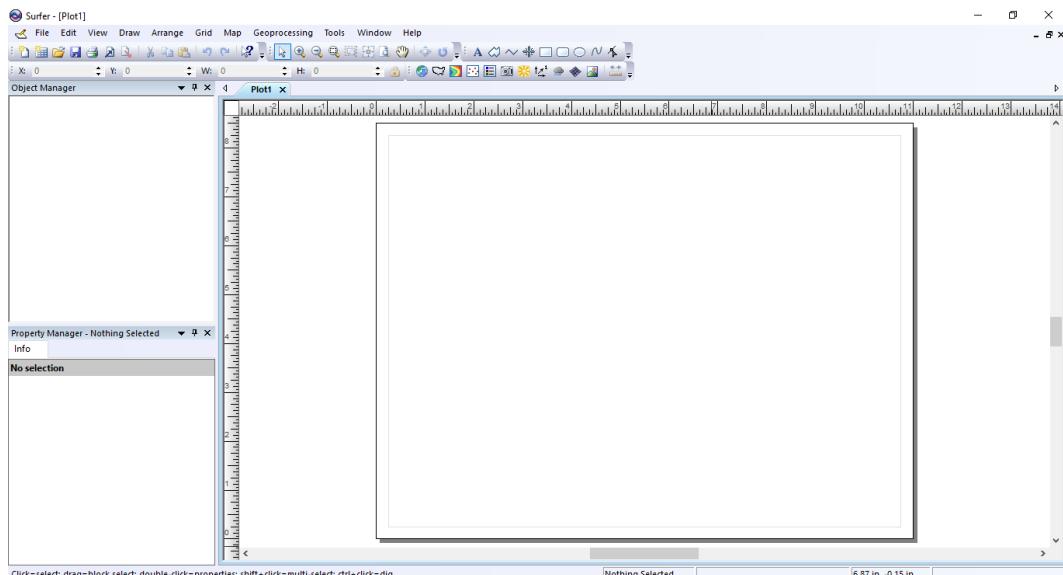
D:\TA_17>
```

Gambar L10. Tampilan proses peng gabungan data hasil *cutting* pada *Command Prompt*.

Lampiran 8. Peta Pemodelan Hasil Penelitian

Peta pemodelan (mikrozonasi) dibuat dengan menggunakan *Surfer* 12. Sebagai contoh, pemodelan dilakukan terhadap nilai frekuensi predominan (f_0) dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Membuka *Surfer* 12, sehingga akan muncul tampilan seperti Gambar L11.



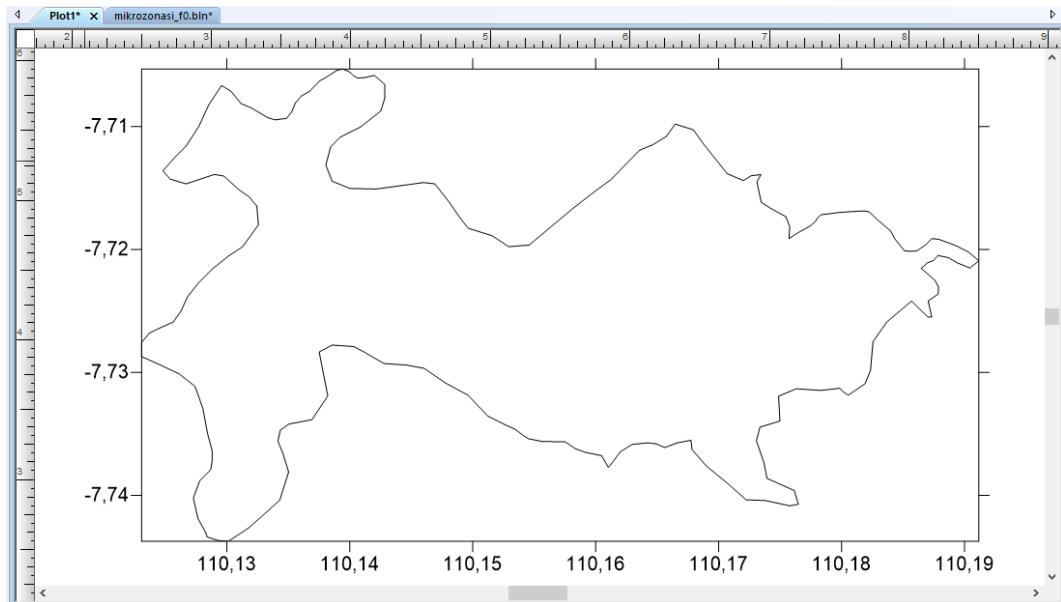
Gambar L11. Tampilan awal *Surfer* 12.

2. Pada menu *File*, pilih *New*, pilih *Worksheet*, kemudian masukkan titik koordinat pada kolom A untuk *longitude*, dan kolom B untuk *latitude*. Sedangkan untuk nilai frekuensi predominan, masukkan pada kolom C, dan nama titik pada kolom D seperti yang ditunjukkan pada Gambar L12. Simpan *file* dalam format .bln.

	F0																		
	A	x	B	y	C	z	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	I^
1	110.15972	-7.736389	16.9612	11															
2	110.16194	-7.7325	0.612594	37															
3	110.14056	-7.708889	5.11326	TA 3															
4	110.13056	-7.719167	3.0795	TA 9															
5	110.15	-7.716944	7.14091	TA 11															
6	110.16861	-7.716944	11.0444	TA 13															
7	110.18583	-7.716111	13.1746	TA 15															
8	110.131111	-7.726111	9.29234	TA 17															
9	110.15	-7.725278	7.63331	TA 19															
10	110.16806	-7.726111	14.6218	TA 21															
11	110.1875	-7.726111	10.3676	TA 23															
12	110.13278	-7.734722	2.92127	TA 25															
13	110.15139	-7.735833	6.03084	TA 27															
14	110.17028	-7.734444	18.573	TA 29															
15	110.18333	-7.723333	17.4381	TA KPF9															
16	110.13333	-7.713056	10.5918	TA KPF															
17	110.13639	-7.72	0.724093	TA T1															
18	110.16389	-7.723056	17.5299	TA T3															
19	110.13333	-7.706667	3.5431	TA 2															
20	110.15056	-7.708333	3.53754	TA 4															
21	110.16944	-7.706944	3.259	TA 6															
22	110.12333	-7.716944	6.28579	TA 8															
23	110.14278	-7.714444	3.56348	TA 10															
24	110.15944	-7.715833	17.6393	TA 12															
25	110.17722	-7.716667	3.55456	TA 14															
26	110.12278	-7.725833	2.68493	TA 16															
27	110.13972	-7.725556	1.92067	TA 18															
28	110.15861	-7.725833	11.5464	TA 20															

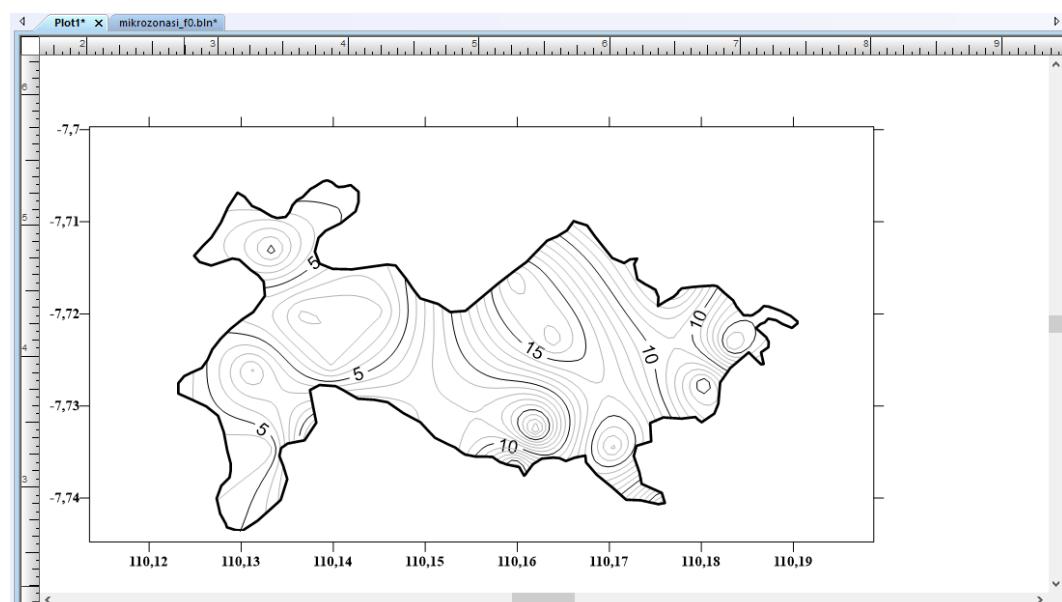
Gambar L12. Proses *input* data pada *worksheet*.

- Untuk melakukan *grid* data, buka *New Plot*, pada menu *Grid*, pilih Data, kemudian pilih data dalam format .bln yang akan dibuat *grid*, pilih *Open*, kemudian muncul *toolbox* pada *Surfer*, pilih OK, sehingga muncul *toolbox* baru. Isikan koordinat minimum dan maksimum peta yang akan digunakan dalam mikrozonasi pada kotak *X direction* dan *Y direction*, pilih OK.
- Sebelum membuka data hasil *grid*, pilih menu *New Base Map* untuk membuka peta dalam format .shp, pilih *file* yang akan digunakan, pilih *Open*, maka tampilan pada *Plot* seperti yang ditunjukkan pada Gambar L13.



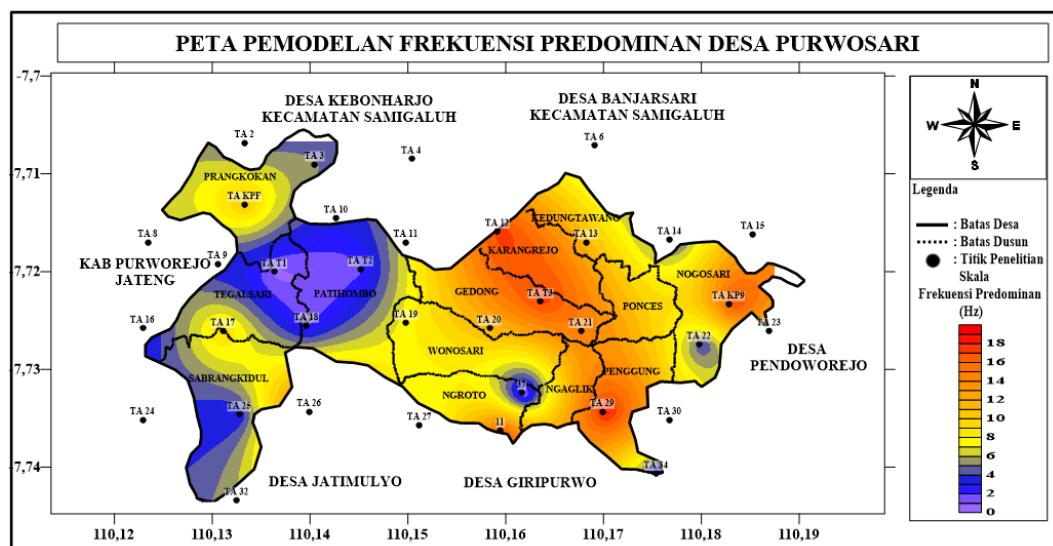
Gambar L13. Peta dalam format .shp.

5. Buka *New Contour Map*, pilih data dalam format *grid*, pilih *Open*. Untuk menggabungkan peta administrasi dengan hasil *grid* dilakukan dengan mengetik *CTRL + A* pada peta, pilih *Map* pada *toolbar*, pilih *Overlay*, sehingga muncul tampilan seperti yang ditunjukkan pada Gambar L14.



Gambar L14. Tampilan hasil *overlay* data *grid* dengan peta administrasi Desa Purwosari.

6. Pembagian klasifikasi nilai tinggi, rendah dan sedang pada peta mikrozonasi diwakili dengan pembagian warna yaitu dilakukan dengan cara pilih *Contours* pada *Object Manager*, pilih *General* pada *Property Manager*, pilih *Fill Contours* dan *Color Scale*, sehingga skala bisa ditampilkan.
7. Tambahkan informasi seperti keterangan gambar, arah mata angin, nama dusun, dan informasi lain yang sekiranya dibutuhkan dalam pembuatan peta pemodelan. Hasil peta pemodelan frekuensi predominan seperti ditunjukkan pada Gambar L15.



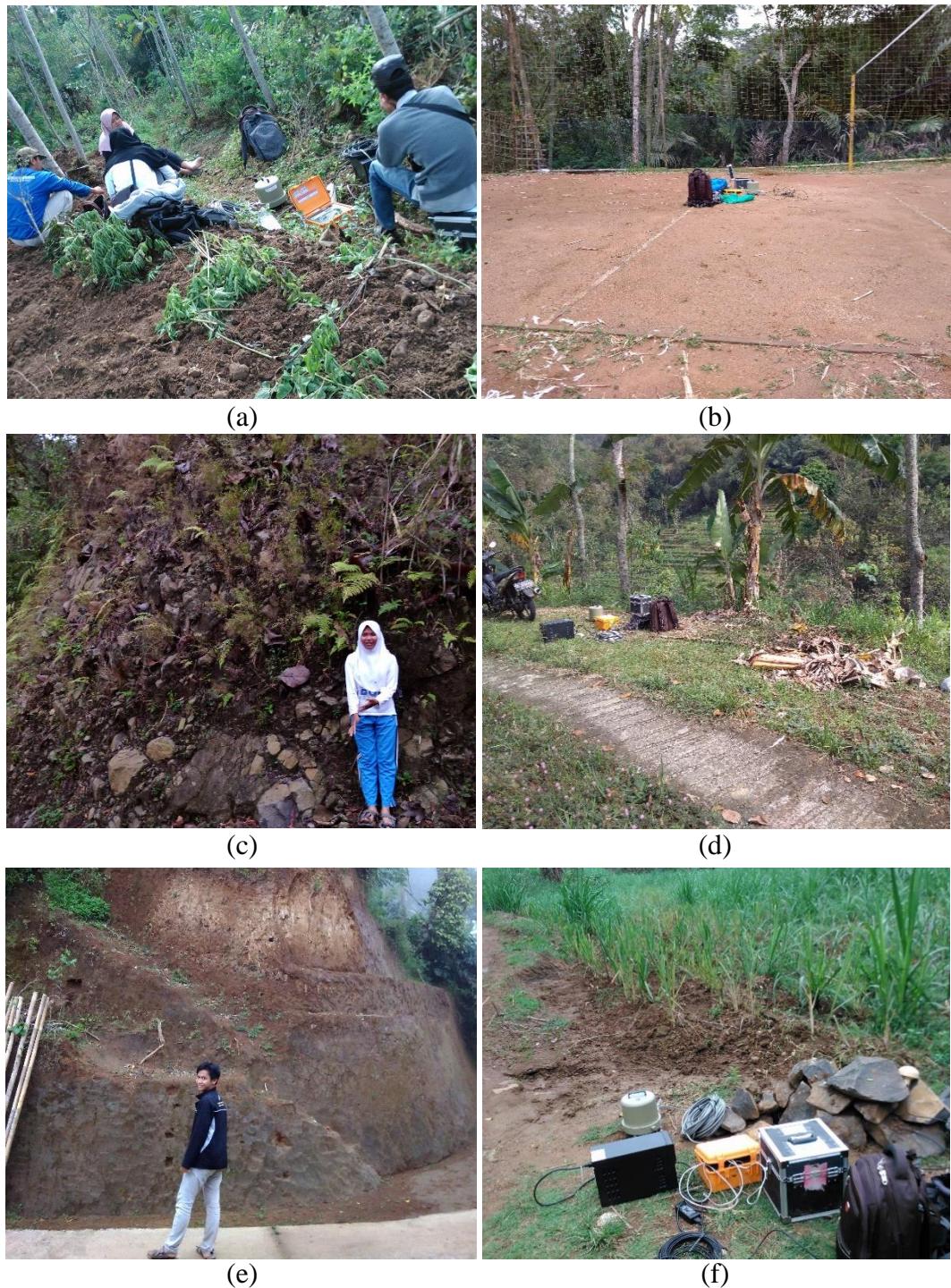
Gambar L15. Peta Pemodelan Frekuensi Predominan Desa Purwosari.

Lampiran 9. Dokumentasi Kejadian Tanah Longsor di Desa Purwosari.



Gambar L16. Dokumentasi Kejadian Tanah Longsor di Desa Purwosari, (a) Titik 1, (b) Titik 2, (c) Titik 8, (d) Titik 12, (e) Titik 20, (f) Titik 21.

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian



Gambar L17. Dokumentasi Penelitian pada Titik, (a) TA 10, (b) TA 17, (c) TA 20, (d) TA 21, (e) TA 25, (f) TA KPF.