

**IDENTIFIKASI DAERAH RAWAN LONGSOR MENGGUNAKAN
METODE MIKROTREMOR DI KECAMATAN BAGELEN KABUPATEN
PURWOREJO**

SKRIPSI

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



Oleh:

GOFUR DYAH AYU GILANG PERTIWI

NIM 14306141041

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

LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan judul
**IDENTIFIKASI DAERAH RAWAN LONGSOR MENGGUNAKAN
METODE MIKROTREMOR DI KECAMATAN BAGELEN KABUPATEN
PURWOREJO**

Disusun oleh:

Gofur Dyah Ayu Gilang Pertiwi

NIM 14306141041

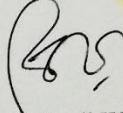
telah memenuhi syarat dan disetujui oleh dosen pembimbing untuk dilaksanakan

Ujian Akhir Skripsi bagi yang bersangkutan

Yogyakarta, 27 Juli 2018

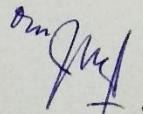
Menyetujui,
Pembimbing I

Pembimbing II


Nugroho Budi Wibowo, M.Si.
NIP 19840223 20081 1 001


Denny Darmawan, M.Sc.
NIP 19791202 200312 1 002

Mengetahui,
Ketua Program Studi Fisika



Nur Kadarisman, M.Si.
NIP 19640205 199101 1001

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

IDENTIFIKASI DAERAH RAWAN LONGSOR MENGGUNAKAN METODE MIKROTREMOR DI KECAMATAN BAGELEN KABUPATEN PURWOREJO

Disusun oleh:

Gofur Dyah Ayu Gilang Pertiwi
NIM 14306141041

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir Skripsi Program Studi
Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri
Yogyakarta pada tanggal 2 Agustus 2018

TIM PENGUJI

Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Nugroho Budi Wibowo, M.Si. NIP 19840223 200801 1 001	Ketua Penguji		8-8-2018
Laila Katriani, M.Si. NIP 19850415 201212 2 001	Penguji Utama		7-8-2018
Denny Darmawan, M.Sc. NIP 19791202 200312 1 002	Sekretaris Penguji		7-8-2018

Yogyakarta, 9 Agustus 2018
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta

Dekan,



SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Gofur Dyah Ayu Gilang Pertiwi

NIM : 14306141041

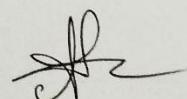
Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Judul Skripsi : Identifikasi Daerah Rawan Longsor menggunakan Metode
Mikrotremor di Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo.

menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar penelitian dan karya sendiri. Sepanjang
pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan
orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan
karya ilmiah yang telah lazim. Apabila terbukti pernyataan ini tidak benar,
sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya.

Yogyakarta, Juli 2018
Yang menyatakan,



Gofur Dyah Ayu Gilang Pertiwi
NIM 14306141041

MOTTO

Expecto patronum!

HALAMAN PERSEMBAHAN

*Karya ini saya persembahkan untuk Ibu,
Bapak, Kakak dan Keluarga tercinta. Juga sahabat
dan teman-teman saya di SIKAE, Geofisika 2014,
Kolega Fisika 2014, HIMAFI 2015-2016, serta
kepada Universitas Negeri Yogyakarta.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan kasih sayang dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Identifikasi Daerah Rawan Longsor menggunakan Metode Mikrotremor di Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo”.

Terselesaikannya skripsi ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Hartono selaku Dekan FMIPA UNY yang telah mengesahkan Tugas Akhir Skripsi ini.
2. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si., selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika yang telah memberikan izin penelitian.
3. Bapak Nur Kadarisman, M.Si., selaku Ketua Program Studi Fisika yang telah memberikan izin penelitian.
4. Bapak Nugroho Budi Wibowo, M.Si dan Bapak Denny Darmawan, M.Sc selaku pembimbing yang telah memberikan arahan dan motivasi dengan penuh kesabaran sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Seluruh Dosen, Staff, dan Laboran Jurusan Pendidikan Fisika yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan.
6. BMKG Yogyakarta yang telah memberikan bantuan dan kerjasama dalam pengambilan data.

7. Teman-teman dan sahabat seperjuangan di SIKAE, Geofisika 2014, dan Kolega Fisika 2014 khususnya Gandes, Azka, Fery dan Zula yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharap kritik dan saran untuk penyempurnaan lebih lanjut. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Yogyakarta, Juli 2018
Yang menyatakan

Gofur Dyah Ayu Gilang Pertiwi
NIM 14306141041

IDENTIFIKASI DAERAH RAWAN LONGSOR MENGGUNAKAN METODE MIKROTREMOR DI KECAMATAN BAGELEN KABUPATEN PURWOREJO

Oleh:

Gofur Dyah Ayu Gilang Pertiwi

14306141041

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik frekuensi predominan (f_0), faktor amplifikasi (A), ketebalan lapisan sedimen (H) dan indeks kerentanan seismik (K_g) di daerah rawan longsor di Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo menggunakan metode mikrotremor. Penelitian dilakukan di Desa Kalirejo, Clapar, Soko, Sokagung, Semagung, Semono, Hargorejo, dan Somorejo. Pengambilan data dibatasi pada koordinat $7^{\circ}46'40,58'' - 7^{\circ}49'23,99''$ LS dan $110^{\circ}1'22,65'' - 110^{\circ}3'33,46''$ BT.

Pengambilan data dilakukan menggunakan satu set alat *Digital Portable Seismograph* merk Taide tipe TDL-3035 pada 32 titik penelitian dengan spasi 1 Km. Data berupa sinyal mikrotremor kemudian diolah dengan metode HVSR pada *software Geopsy* sehingga diperoleh kurva H/V yang menyatakan nilai f_0 dan A . Kurva tersebut menjadi *input* dalam pengolahan metode *ellipticity curve* dengan *software DInver* sehingga diperoleh *ground profile* yang menyatakan nilai kecepatan gelombang geser (v_s) dan kedalaman lapisan sedimen (H). Nilai f_0 , A , dan v_s kemudian digunakan untuk memperoleh nilai indeks kerentanan seismik (K_g).

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa nilai f_0 di Kecamatan Bagelen berkisar antara $0,77 - 17,43$ Hz, nilai A berkisar antara $1,01 - 15,50$, nilai H berkisar antara $3,09 - 100$ m dan nilai K_g berkisar antara $6,27 \times 10^{-5} - 1,59 \times 10^{-3}$ s 2 /m. Hasil mikrozonasi dan pemodelan menunjukkan bahwa lokasi longsor Kecamatan Bagelen berada pada daerah yang didominasi batuan keras breksi-andesit, batuan lempung dan batuan pasir. Daerah dengan kemiringan curam serta berada pada topografi tinggi menyebabkan proses pelapukan terjadi lebih cepat dan mempermudah material lapuk untuk terlongsorkan.

Kata kunci: tanah longsor, mikrotremor, Kecamatan Bagelen

**IDENTIFICATION OF LANDSLIDE-PRONE AREA USING
MICROTREMOR METHOD IN BAGELEN DISTRICT OF PURWOREJO
REGENY**

By

Gofur Dyah Ayu Gilang Pertiwi

14306141041

ABSTRACT

The research aimed to identify the characteristics of predominant frequency (f_0), amplification factor (A), sediment layer thickness (H), and seismic vulnerability index (K_g) of landslide area in Bagelen District, Purworejo Regency using microtremor method. The research was located in Kalirejo, Clapar, Soko, Sokagung, Semagung, Semono, Hargorejo, and Somorejo villages. Data acquisition was limited to area with coordinates of $7^{\circ}46'40,58''$ - $7^{\circ}49'23,99''$ S and $110^{\circ}1'22,65''$ - $110^{\circ}3'33,46''$ E.

Data was collected using a set of Taide TDL-3035 Digital Portable Seismograph at 32 research points with 1 Km spacing. Data in the form of microtremor signals were then processed by HVSR method in Geopsy to obtain the H/V curve that show the value of f_0 and A . The curve becomes the input in the ellipticity curve method in Dinver to obtain the ground profile that show the value of the shear wave velocity (v_s) and the sediment layer depth. The f_0 , A , dan v_s value then used to obtain the value of seismic vulnerability index (K_g).

The result showed that the value of f_0 in Bagelen district ranged from 0.77 to 17.43 Hz, the value of A ranged from 1.01 to 15.50, the value of H ranged from 3.09 to 100 m and the value of K_g ranged from 6.27×10^{-5} to 1.59×10^{-3} s²/m. The microzonation and modeling results showed that the landslide area of Bagelen district were in areas dominated by breccia-andesite hard rock, clay rock and sandstone. Areas with a steep slope and on a high topography caused the weathering process occurred more quickly and the weathered material were easier to cause a landslide.

Keywords: landslide, microtremor, Bagelen District

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	5
C. Batasan Masalah	6
D. Rumusan Masalah	6
E. Tujuan Penelitian	7
F. Manfaat Penelitian	7
BAB II KAJIAN TEORI	8
A. Tanah Longsor	8
1. Faktor Penyebab Tanah Longsor	8
2. Bentuk Tanah Longsor	10
B. Gelombang Seismik	12
C. Mikrotremor	19
D. Metode <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i> (HVSР)	20
E. <i>Ellipticity Curve</i>	22
F. Frekuensi Predominan dan Ketebalan Sedimen	25
G. Faktor Amplifikasi	26
H. Indeks Kerentanan Seismik	27
I. Kecamatan Bagelen	29
J. Kerangka Berpikir	31

BAB III METODE PENELITIAN	33
A. Waktu dan Tempat Penelitian	33
B. Instrumen Penelitian	33
1. Perangkat lunak (<i>software</i>)	33
2. Perangkat keras (<i>hardware</i>)	34
C. Teknik Pengambilan Data.....	35
1. Survei	35
2. Pengambilan Data	37
D. Teknik Analisis Data	39
1. Menganalisis Sinyal Mikrotremor	39
2. Menganalisis Kurva H/V untuk Menentukan Lapisan Bawah Permukaan	39
3. Mikrozonasi	41
4. Pemodelan 3D	42
E. Diagram Alir Penelitian	44
BAB IV PEMBAHASAN.....	45
A. Frekuensi Predominan	45
B. Faktor Amplifikasi.....	49
C. Ketebalan Lapisan Sedimen	53
D. Indeks Kerentanan Seismik	58
E. Identifikasi Daerah Longsor	62
1. Daerah Longsor Bagian A.....	64
2. Daerah Longsor Bagian B	70
3. Daerah Longsor Bagian C.....	75
BAB V PENUTUP	80
A. Kesimpulan.....	80
B. Saran	81
DAFTAR PUSTAKA	82
LAMPIRAN	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta Bahaya Tanah Longsor Kabupaten Purworejo Jawa Tengah.....	3
Gambar 2. Komponen-komponen Gaya pada Medium Kubus.....	12
Gambar 3. Ilustrasi Gelombang Badan	17
Gambar 4. Ilustrasi Gelombang Permukaan	18
Gambar 5. Peta Administrasi Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo	30
Gambar 6. <i>Digital Portable Seismograph</i>	34
Gambar 7. GPS Garmin 78S	35
Gambar 8. Kompas	35
Gambar 9. Desain Survei Penelitian	36
Gambar 10. Desain Pengambilan Data	37
Gambar 11. Analisis Sinyal Mikrotremor dengan <i>Software Geopsy</i>	39
Gambar 12. Analisis kurva H/V untuk Menentukan Lapisan Bawah Permukaan.	40
Gambar 13. Mikrozonasi	42
Gambar 14. Skema Pengubahan Kurva H/V menjadi Amplifikasi-Kedalaman....	43
Gambar 15. Pemodelan 3D	43
Gambar 16. Diagram Alir Penelitian	44
Gambar 17. Mikrozonasi Nilai Frekuensi Predominan	47
Gambar 18. Mikrozonasi Nilai Faktor Amplifikasi	51
Gambar 19. Pemodelan 3D Nilai Kecepatan Gelombang Geser	55
Gambar 20. Pemodelan 3D Lapisan Sedimen dan Lapisan Bedrock	55
Gambar 21. <i>Cross-section</i> Model 3D Nilai Kecepatan Gelombang Geser	56
Gambar 22. <i>Cross-section</i> Model 3D Lapisan Sedimen dan <i>Bedrock</i>	56
Gambar 23. Pemodelan 3D Nilai Faktor Amplifikasi terhadap Kedalaman	57
Gambar 24. <i>Cross-section</i> Model 3D Nilai Faktor Amplifikasi	57
Gambar 25. Mikrozonasi Nilai Indeks Kerentanan Seismik.....	58
Gambar 26. Persebaran Titik Longsor di Kecamatan Bagelen	63
Gambar 27. Daerah Longsor Bagian A.....	64
Gambar 28. Mikrozonasi f_0 , A , dan K_g di Daerah Longsor Bagian A	65
Gambar 29. <i>Cross-section</i> Pemodelan Daerah Longsor Bagian A1	66
Gambar 30. <i>Cross-section</i> Pemodelan Daerah Longsor Bagian A2 dan A3	67
Gambar 31. Daerah Longsor Bagian B	71

Gambar 32. Mikrozonasi f_0 , A , dan K_g di Daerah Longsor Bagian B	73
Gambar 33. <i>Cross-section</i> Pemodelan Daerah Longsor Bagian B	74
Gambar 34. Daerah Longsor Bagian C	75
Gambar 35. Mikrozonasi f_0 , A , dan K_g di Daerah Longsor Bagian C	77
Gambar 36. <i>Cross-section</i> Pemodelan Daerah Longsor Bagian C	78

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Rekapitulasi Kejadian Longsor Kecamatan Bagelen.....	2
Tabel 2. Klasifikasi Kemiringan Lereng menurut USSM dan USLE.....	10
Tabel 3. Nilai Poisson <i>Ratio</i>	23
Tabel 4. Nilai Variasi Densitas Batuan	24
Tabel 5. Klasifikasi Nilai Kecepatan Gelombang Kompresi	24
Tabel 6. Klasifikasi <i>Site</i> berdasarkan Nilai Kecepatan Gelombang Geser	25
Tabel 7. Klasifikasi Tanah berdasarkan Nilai Frekuensi Predominan.....	25
Tabel 8. Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi.....	27
Tabel 9. Persyaratan Teknis Survei Mikrotremor	38
Tabel 10. Penentuan <i>Ground Profile</i>	41
Tabel 11. Klasifikasi Tanah berdasarkan Formasi dan Nilai Frekuensi Dominan	46
Tabel 12. Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi.....	52
Tabel 13. Klasifikasi Nilai Faktor Indeks Kerentanan Seismik.....	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kurva H/V Hasil Pengolahan Sinyal Mikrotremor	85
Lampiran 2. Hasil Kriteria Kurva Reliabel dan Kurva <i>Clear Peak</i>	96
Lampiran 3. Hasil Analisis Nilai v_s	98
Lampiran 4. <i>Datasheet</i> Mikrozonasi.....	109
Lampiran 5. Pengolahan Sinyal Mikrotremor dengan <i>Geopsy</i>	112
Lampiran 6. Proses <i>Cutting</i> Sinyal Mikrotremor dengan <i>Geopsy</i> dan <i>Command Prompt</i>	116
Lampiran 7. Pengolahan Kurva H/V untuk Menentukan Litologi Bawah Permukaan dengan Program <i>Dinver</i>	123
Lampiran 8. Proses Pemodelan 3D Lapisan Sedimen	127
Lampiran 9. Proses Pemodelan 3D Nilai Amplifikasi terhadap Kedalaman	133
Lampiran 10. Proses Pemodelan 3D Litologi Bawah Permukaan	138
Lampiran 11. Pembuatan Titik Koordinat di <i>Rockwork 15</i>	143
Lampiran 12. Proses Mikrozonasi dengan <i>Surfer 10</i>	146
Lampiran 13. Dokumentasi Penelitian.....	152

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tanah longsor merupakan salah satu jenis bencana alam yang sering terjadi di Indonesia. Penyebab utama dari bencana tersebut adalah intensitas curah hujan yang mampu melunakkan tanah atau aktivitas kegempaan yang menimbulkan gaya dinamis akibat getaran atau rambatan dari pusat gempa sehingga terjadi *slope* atau ketidakstabilan lereng (Ilyas, 2011). Akibat paling nyata dari bencana tanah longsor adalah tertimbunnya pemukiman atau kelompok masyarakat yang tinggal di atas atau di bawah lereng yang kondisinya tidak stabil. Oleh karena itu, bencana alam ini tidak hanya mengakibatkan kerusakan lingkungan dan infrastruktur, tetapi juga dapat menimbulkan korban jiwa.

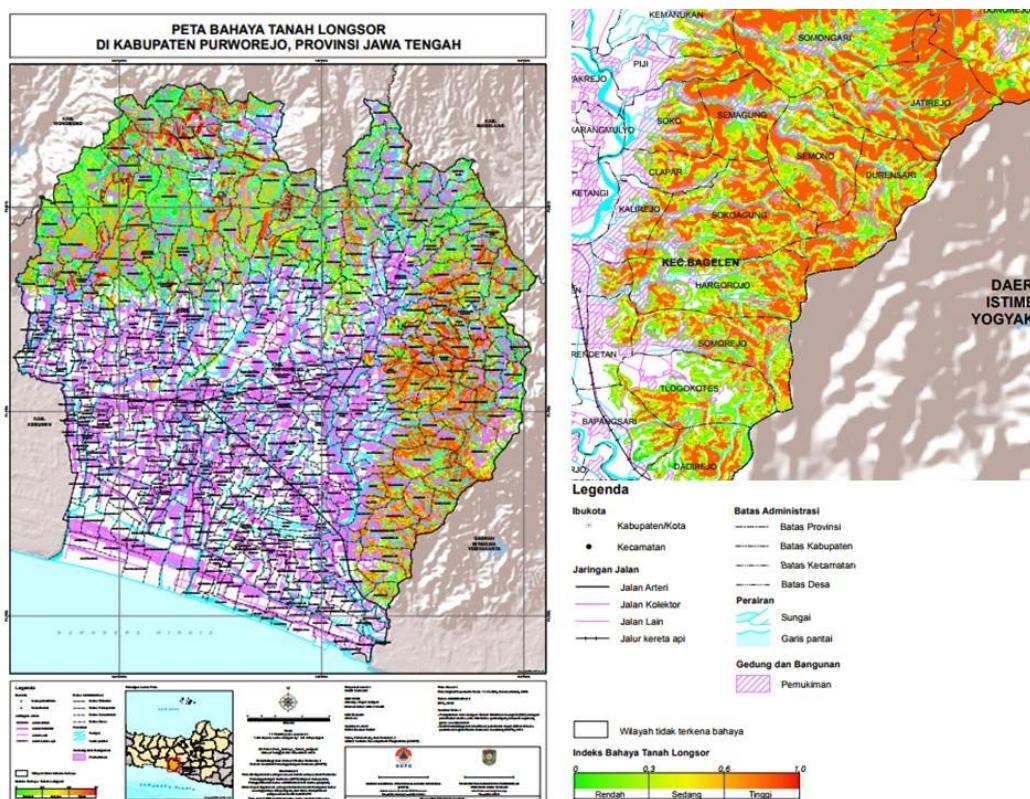
Indonesia secara geologis berada di pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu Lempeng Pasifik, Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Pergerakan antarlempeng tersebut menyebabkan terbentuknya jalur gempa bumi, jalur gunung api, serta zona penunjaman atau patahan-patahan yang berakibat pada morfologi Indonesia yang beragam dari dataran rendah hingga pegunungan tinggi. Selain itu, Indonesia yang beriklim tropis karena letaknya yang berada di khatulistiwa memiliki kondisi klimatologis dengan curah hujan cukup tinggi, sehingga tidak heran apabila Indonesia sering mengalami bencana alam seperti tanah longsor karena wilayahnya yang berupa lereng dengan curah hujan tinggi.

Salah satu wilayah di Indonesia yang sering mengalami bencana tanah longsor adalah Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah. Secara geografis, sebagian wilayah kecamatan ini terletak di lereng barat Perbukitan Menoreh dan berbatasan langsung dengan Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta. Kecamatan Bagelen merupakan wilayah berupa dataran rendah hingga tinggi yang terdiri dari 17 desa dengan luas wilayah 57,86 km². Dilihat dari peta geologi lembar Yogyakarta, Kecamatan Bagelen memiliki empat formasi batuan yaitu Aluvium, Kebobutak, Dasit, dan Andesit. Selain itu, Kecamatan Bagelen juga dilalui sesar minor *up-down* yang melintas dari barat ke timur. Dengan adanya beberapa jalur sesar diduga wilayah tersebut memiliki banyak retakan yang ketika hujan turun berakibat pada melapuknya batuan dan tidak mampu menahan kandungan air sehingga terjadi tanah longsor. Hal ini ditambah lagi dengan curah hujan yang tinggi yakni lebih dari 2200mm/tahun (Atmoko, 2017).

Tabel 1. Rekapitulasi Kejadian Longsor Kecamatan Bagelen (BPBD, 2017)

Desa	Tahun					Total
	2013	2014	2015	2016	2017	
Hargorojo	5	2	1	2	2	12
Sokoagung	3	1	2		2	8
Semono	2			2	1	5
Somorejo	1	1	2			4
Soko	2				1	3
Durensari			3			3
Krendetan	1	1				2
Kalirejo	1		1			2
Tlogokotes			1			1
Semagung	1					1
Dadirejo	1					1
Bapangsari	1					1
Piji				1		1
Bagelen						0
Bugel						0
Clapar						0
Kemanukan						0
Total	18	5	10	4	7	44

Bencana longsor di Purworejo mengakibatkan kerugian hingga Rp37,8 miliar. Bencana tersebut mengakibatkan 34 rumah tertimbun dan 153 rumah mengalami kerusakan (Pustadinmas BNPB, 2016). Berdasarkan hasil rekapitulasi bencana tahun 2013 – 2017 oleh BPBD Purworejo, di Kecamatan Bagelen tercatat sejumlah kejadian tanah longsor seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dengan wilayah yang paling sering mengalami kejadian tanah longsor adalah Desa Hargorojo, Desa Sokoagung, dan Desa Semono (BPBD, 2017). Selain itu, sebagian besar desa di Kecamatan Bagelen memiliki indeks bahaya tanah longsor yang tinggi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Bahaya Tanah Longsor Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah (BNPB, 2013)

Hasil validasi dari penelitian Atmoko mengenai distribusi longsor lahan di Kecamatan Bagelen pada tahun 2017 menyatakan bahwa potensi bencana longsor di wilayah tersebut cukup tinggi. Wilayah seluas 45,60 km² atau 78,81% dari luas wilayah Kecamatan Bagelen berpotensi longsor kategori sedang hingga tinggi, sedangkan sisanya berpotensi rendah. Tingginya potensi longsor tersebut karena curah hujan yang tinggi, kemiringan lereng yang curam hingga sangat curam, serta aktivitas penduduk dalam hal pemanfaatan lahan dengan penebangan pohon atau kayu, pemotongan lereng dan penambangan.

Penelitian mengenai kejadian tanah longsor di Kecamatan Bagelen pernah dilakukan oleh Atmoko pada tahun 2017, dimana penelitiannya bertujuan untuk mengetahui persebaran longsor lahan di wilayah tersebut yang dilakukan dengan cara mengoverlay beberapa parameter seperti bentuk lahan, curah hujan, kemiringan lereng, jenis tanah, dan penggunaan lahan yang kemudian dianalisis secara deskriptif kualitatif. Sebelumnya, Mey pada tahun 2009 juga telah menganalisis data-data sekunder seperti peta geologi, peta topografi wilayah, peta persebaran banjir dan tanah longsor dengan GIS (*Geographic Information System*) sebagai upaya mitigasi serta pemanfaatan lahan di Kecamatan Bagelen. Akan tetapi, belum ada penelitian yang digunakan untuk mengetahui karakteristik geologi atau struktur lapisan bawah permukaan di Kecamatan Bagelen., dimana karakteristik geologi setempat tersebut dapat menunjukkan bagaimana material-material dapat terlongsorkan. Salah satu metode di geofisika yang dapat menunjukkan karakteristik tersebut adalah metode mikrotremor. Hasil pengukuran dengan metode ini adalah sinyal mikrotremor yang kemudian diolah dengan metode

horizontal to vertical spectral ratio (HVSР) sehingga diperoleh nilai frekuensi predominan dan faktor amplifikasi dari suatu titik pengukuran. Kedua parameter mikrotremor tersebut kemudian digunakan untuk menghitung indeks kerentanan seismik dan ketebalan sedimen.

Penelitian dengan metode mikrotremor ini pernah dilakukan untuk mengetahui efek lokal dari daerah longsor di Kabupaten Jember dan Kabupaten Malang (Warnana, *et al.*, 2011), dan di Bursa, Turki (Gok dan Polat, 2016), mengidentifikasi struktur lapisan tanah daerah rawan longsor di Kecamatan Banyubiru, Kabupaten Semarang (Shaleha, *et al.*, 2016), mendeteksi permukaan gelincir dari longsor di Castagnola dan Roccalbegna, Itali (Pazzi, *et al.*, 2016), serta memetakan daerah rawan longsor di Kecamatan Batur, Kabupaten Banjarnegara (Ramadhan, 2016). Oleh karena itu, penelitian dengan metode mikrotremor ini dapat memberikan tambahan informasi mengenai daerah yang rawan terjadi longsor di Kecamatan Bagelen, terlebih belum ada penelitian dengan metode mikrotremor di wilayah tersebut, sehingga penelitian ini dapat bermanfaat untuk mengurangi resiko bencana yang terjadi serta sebagai acuan untuk mitigasi atau pembangunan wilayah yang aman dari bencana tanah longsor.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah yaitu:

1. Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo merupakan wilayah berupa daratan rendah hingga tinggi dengan kemiringan lereng dari curam hingga sangat curam

serta memiliki curah hujan tinggi yang menyebabkan wilayah tersebut memiliki potensi tanah longsor yang tinggi.

2. Metode mikrotremor dapat digunakan untuk mengidentifikasi daerah longsor, namun belum ada penelitian untuk mengidentifikasi daerah longsor di Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo dengan metode tersebut.

C. Pembatasan Masalah

Merujuk pada latar belakang dan identifikasi masalah, maka masalah dapat dibatasi sebagai berikut:

1. Data mikrotremor diambil berdasarkan data primer di 8 desa di Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo sebanyak 32 titik lokasi pengambilan data dengan jarak antar titik sejauh 1 kilometer.
2. Pengambilan data mikrotremor mengacu pada aturan yang ditetapkan oleh SESAME *European Research Project*.
3. Identifikasi daerah rawan longsor berdasarkan persebaran nilai frekuensi predominan, faktor amplifikasi, indeks kerentanan seismik, dan ketebalan sedimen.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik dan persebaran frekuensi predominan, faktor amplifikasi, indeks kerentanan seismik dan ketebalan sedimen di Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo?
2. Bagaimana karakteristik lokasi longsor di Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo berdasarkan persebaran frekuensi predominan, faktor amplifikasi, indeks kerentanan seismik dan ketebalan sedimen?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik dan persebaran frekuensi predominan, faktor amplifikasi, indeks kerentanan seismik dan ketebalan sedimen di Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo
2. Mengetahui karakteristik lokasi longsor di Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo berdasarkan persebaran frekuensi predominan, faktor amplifikasi, indeks kerentanan seismik dan ketebalan sedimen

F. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat digunakan sebagai sumber kajian untuk melakukan penelitian lebih lanjut pada daerah rawan longsor di Kabupaten Purworejo.
2. Dapat digunakan sebagai data mitigasi dan informasi tentang potensi bencana tanah longsor di Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo.

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Tanah Longsor

Tanah longsor secara umum adalah suatu peristiwa geologi dimana terjadi pergerakan tanah seperti jatuhnya bebatuan atau gumpalan besar tanah. Pada prinsipnya, tanah longsor terjadi ketika gaya pendorong pada lereng lebih besar daripada gaya penahan. Gaya penahan umumnya dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah, sedangkan gaya pendorong dipengaruhi oleh besarnya kemiringan lereng, air, beban serta berat jenis tanah batuan. Ketika air meresap hingga lapisan kedap air atau bidang gelincir, maka bidang gelincir tersebut menjadi licin dan tanah lapuk di atasnya akan bergerak mengikuti lereng dan luar lereng. Gejala umum tanah longsor ditandai dengan munculnya retakan-retakan di sekitar lereng yang sejajar dengan arah tebing serta munculnya air secara tiba-tiba setelah terjadi hujan dan kemudian tebing rapuh atau kerikil mulai berjatuhan (Nandi, 2007).

1. Faktor Penyebab Tanah Longsor

Gangguan yang merupakan faktor penyebab tanah longsor berupa proses alamiah, nonalamiah, ataupun kombinasi keduanya, yang secara aktif mempercepat proses hilangnya kestabilan pada suatu lereng. Secara umum, faktor penyebab tanah longsor dapat berupa hujan, getaran dan aktivitas manusia (Pramumijoyo dan Karnawati, 2008).

a. Hujan

Hujan dalam periode yang panjang akan menyebabkan air yang dicurahkan meresap ke dalam lereng. Semakin banyak air yang meresap dalam lereng maka lapisan tanah akan semakin jenuh dan lunak sehingga terjadi longsor.

b. Getaran

Getaran dapat melemahkan atau memutuskan hubungan antar butir partikel-partikel penyusun tanah atau batuan pada lereng. Getaran berperan dalam menambah gaya penggerak dan sekaligus mengurangi gaya penahan. Getaran dapat berasal dari gempa bumi (alamiah) maupun dari ledakan atau getaran lalu lintas (nonalamiah).

c. Kondisi Tanah

Kondisi yang dapat memicu terjadinya longsor adalah tanah yang mengalami erosi dan pengikisan, memiliki tanah yang bersifat lapuk atau lembek, butirannya halus, dan tanah jenuh. Kondisi ini dapat dipicu karena iklim yang sering berganti serta tumbuhnya banyak vegetasi di lereng yang mempercepat pelapukan.

d. Kondisi Geologi

Kondisi geologi suatu wilayah yang dapat mengalami longsor adalah adanya batuan lapuk atau sisipan lapisan batu lempung di atas lapisan batuan yang miring (berupa lereng). Lapisan batuan tersebut berfungsi sebagai bidang longsoran karena merupakan lapisan yang kedap air. Lereng yang terjal dapat diakibatkan oleh struktur sesar dan kekar (patahan dan lipatan), gempa bumi, stratigrafi atau gunung api.

e. Kelerengan

Kelerengan merupakan tingkat kemiringan yang tercermin dalam morfologi. Semakin besar tingkat kelerengan pada umumnya akan semakin menambah kemungkinan terjadinya tanah longsor. Klasifikasi kemiringan lereng ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Kemiringan Lereng menurut USSM (*United Stated Soil System Management*) dan USLE (*United Soil Loss Equation*) (Arfiansah, 2015)

Kemiringan (°)	Keterangan
< 1	Datar – hampir datar
1 – 3	Sangat landai
3 – 6	Landai
6 – 9	Agak curam
9 – 25	Curam
25 – 65	Sangat curam
> 65	Terjal

f. Penggunaan lahan

Penggunaan lahan oleh manusia sangat berpengaruh terhadap terjadinya tanah longsor. Pembukaan hutan secara sembarangan, penanaman jenis pohon yang terlalu berat dengan jarak yang terlalu rapat, pemotongan lereng atau tebing untuk jalan atau pemukiman, bahkan penggalian tambang merupakan pola penggunaan lahan yang sering dijumpai di daerah longsor.

2. Bentuk Tanah Longsor

Bencana tanah longsor dapat terjadi dalam 6 bentuk (Ilyas, 2011), yaitu *slide* (longsoran), *falls* (jatuh), *topples* (robohan), *flows* (aliran) dan *creep* (rayapan). Bentuk-bentuk tanah longsor tersebut diuraikan sebagai berikut.

a. *Slide* (Longsoran)

Tanah longsor jenis ini bergerak di atas suatu permukaan bidang gelincir yang berupa rekahan, kekar, atau bidang perlapisan yang sejajar dengan lereng. *Slide* dapat dibedakan menjadi dua, yakni dalam bentuk translasi dan rotasi. Tanah longsor translasi adalah bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir yang berbentuk merata atau landai, sedangkan pada tanah longsor rotasi berbentuk cekung.

b. *Falls* (Jatuh)

Falls merupakan gerakan pecahan batuan besar atau kecil yang terlepas dari massa batuan dasar dan jatuh bebas dengan cepat hingga sangat cepat. Longsoran jenis ini umumnya terjadi pada lereng terjal di pinggir jalan atau sungai yang memiliki batuan lapuk dan banyak rekahan.

c. *Topples* (Robohan)

Topples merupakan robohnya batuan yang bergerak melalui bidang diskontinyu yang sangat tegak pada lereng. Bidang diskontinyu ini berupa retakan pada batuan seperti pada runtuhan.

d. *Flows* (Aliran)

Tanah longsor jenis ini terjadi ketika massa tanah bergerak didorong oleh air. Kecepatan aliran tergantung pada kemiringan lereng, volume dan tekanan air, serta jenis materialnya. Gerakannya terjadi sepanjang lembah dan mampu mencapai jarak ratusan hingga ribuan meter. Tanah longsor jenis ini biasa terjadi di daerah aliran sungai sekitar gunung api dan dapat menelan korban yang cukup banyak.

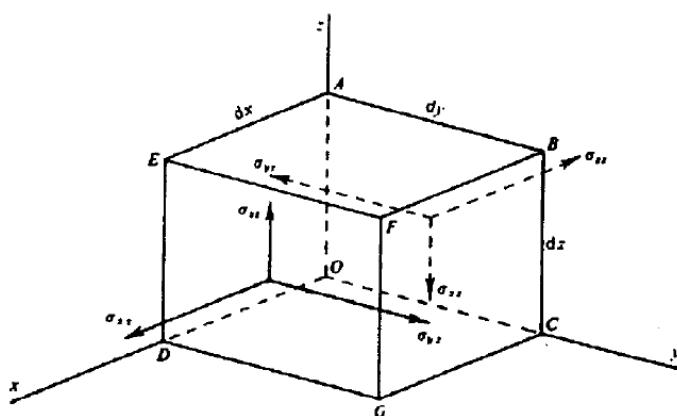
e. *Creep* (Rayapan)

Tanah longsor jenis ini berupa butiran kasar dan halus dari tanah yang bergerak secara lambat dan seringkali tidak bisa dilihat dengan kasat mata. Namun setelah waktu yang cukup lama jenis gerakan ini dapat diamati, seperti dinding rumah retak-retak.

B. Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang yang menjalar di dalam atau di bawah permukaan Bumi yang bersifat elastik. Perambatan gelombang seismik yang menembus struktur perlapisan bumi sangat bergantung pada sifat elastisitas batuan-batuan yang dilaluinya.

Adanya pergerakan dan gaya pada Bumi menyebabkan batuan terdeformasi. Peristiwa deformasi ini berkaitan erat dengan konsep tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) (Telford, *et al.*, 1990). Persamaan gelombang seismik dapat didekati dengan meninjau komponen gaya-gaya tertentu yang bekerja pada sebuah medium homogen berupa kubus seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Komponen-komponen Gaya pada Medium Kubus
(Telford, *et al.*, 1990).

Tegangan yang bekerja pada salah satu permukaan kubus tersebut mempunyai komponen-komponen sebagai berikut.

$$\sigma_{xx} + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} dx ; \sigma_{yx} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} dx ; \sigma_{zx} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} dx \quad (1)$$

Komponen-komponen tegangan di atas disebut gaya tiap satuan volume benda pada bidang x yang memiliki arah pada sumbu x , y , dan z . Untuk kasus permukaan bidang yang lain, hubungan variabel gaya tiap satuan volumenya analog dengan kasus pada bidang x . Total gaya pada sumbu x yang bekerja pada benda (medium) kubus adalah

$$F = \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \right) dxdydz \quad (2)$$

dengan $dxdydz$ merupakan satuan volume kubus. Pada Hukum II Newton, gaya merupakan perkalian antara massa benda (m) dan percepatannya (a). Apabila dikaitkan dengan persamaan densitas atau kerapatan benda $\rho = m/V$, maka

$$F = ma = \rho Va = \rho(dxdydz) \left(\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) \quad (3)$$

Dengan menggunakan definisi gaya pada persamaan (3), persamaan (2) dapat diubah menjadi persamaan (4).

$$\begin{aligned} \rho(dxdydz) \left(\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) &= \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \right) dxdydz \\ \rho \left(\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) &= \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

Hubungan pada persamaan (4) disebut sebagai persamaan gerak searah sumbu x . Dengan cara yang sama, dapat diperoleh persamaan gerak pada arah lainnya.

Persamaan yang menyatakan hubungan antara tegangan (*stress*) σ dan regangan (*strain*) ε adalah (Telford, *et al.*, 1990)

$$\sigma_{ii} = \lambda' \Delta + 2\mu \varepsilon_{ii}, i = x, y, z \quad (5)$$

$$\sigma_{ij} = \mu \varepsilon_{ij}, i \neq j \quad (6)$$

dengan

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{xy} &= \varepsilon_{yx} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \\ \varepsilon_{yz} &= \varepsilon_{zy} = \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \\ \varepsilon_{zx} &= \varepsilon_{xz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

u, v, w menunjukkan komponen perpindahan partikel, λ' adalah konstanta Lame, μ merupakan modulus geser (N/m^2), dan Δ menunjukkan regangan volume atau dilatasi dengan definisi pada persamaan (8).

$$\Delta = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \quad (8)$$

Dengan menerapkan persamaan (5), (6), dan (7) maka persamaan (4) dapat diubah menjadi persamaan (9)

$$\rho \left(\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) = (\lambda' + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial x} + \mu \nabla^2 u \quad (9)$$

$$\rho \left(\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \right) = (\lambda' + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial y} + \mu \nabla^2 v \quad (10)$$

$$\rho \left(\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \right) = (\lambda' + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial z} + \mu \nabla^2 w \quad (11)$$

dengan $\nabla^2 u = \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$ dan u, v, w secara berurutan menunjukkan pergeseran partikel pada arah sumbu x , sumbu y , dan sumbu z .

Gelombang merambat pada suatu medium ke segala arah. Secara tiga dimensi arah perambatan gelombang dinyatakan dengan sumbu x , y , dan z . Untuk menentukan persamaan gelombang dilakukan diferensiasi pada persamaan (9), (10), dan (11) masing-masing terhadap x , y , dan z . Apabila hasil pendiferensialan tersebut dijumlahkan maka akan diperoleh persamaan (12).

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= (\lambda' + \mu) \left(\frac{\partial^2 \Delta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Delta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta}{\partial z^2} \right) + \\ \mu \nabla^2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \\ \rho \frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2} &= \lambda' \nabla^2 \Delta + 2\mu \nabla^2 \Delta \\ \frac{\rho}{(\lambda' + 2\mu)} \frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2} &= \nabla^2 \Delta \end{aligned} \quad (12)$$

Persamaan (12) merupakan persamaan gelombang longitudinal. Berdasarkan persamaan gelombang tersebut diperoleh kecepatan gelombang seismik longitudinal atau dikenal dengan gelombang-P (v_p) sebagai

$$v_p = \left(\frac{\lambda' + 2\mu}{\rho} \right)^2 \quad (13)$$

Diketahui bahwa modulus bulk $k = \frac{3\lambda' + 4\mu}{\rho}$ (Kayal, 2008), sehingga persamaan kecepatan gelombang P pada persamaan (13) dapat didefinisikan sebagai berikut.

$$v_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (14)$$

dengan v_p adalah kecepatan gelombang P (m/s), μ adalah rigiditas atau modulus geser (N/m^2), k adalah modulus Bulk (Pa), dan ρ adalah densitas (Kg/m^3).

Untuk mendapatkan persamaan gelombang transversal atau gelombang seismik S, persamaan (10) didiferensialkan terhadap z dan persamaan (11) didiferensialkan terhadap y . Hasil pendiferensialan persamaan (10) dikurangi dengan hasil pendiferensialan persamaan (11) menghasilkan

$$\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \mu \nabla^2 \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (15)$$

Komponen regangan benda yang mengalami perpindahan secara rotasional didefinisikan pada persamaan (16) (Telford, *et al.*, 1990)

$$\theta_x = \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z}; \theta_y = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x}; \theta_z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad (16)$$

Dengan menerapkan persamaan (16) pada persamaan (15), didapatkan persamaan

$$\rho \frac{\partial^2 \theta_x}{\partial t^2} = \mu \nabla^2 \theta_x \quad (17)$$

dimana θ_x menyatakan gerakan rotasi tegak lurus terhadap sumbu x , sedangkan arah perambatan gelombangnya searah dengan sumbu x . Untuk kasus arah penjalaran gelombang searah sumbu y dan sumbu z digunakan cara yang sama, sehingga diperoleh persamaan

$$\rho \frac{\partial^2 \theta_y}{\partial t^2} = \mu \nabla^2 \theta_y \quad (18)$$

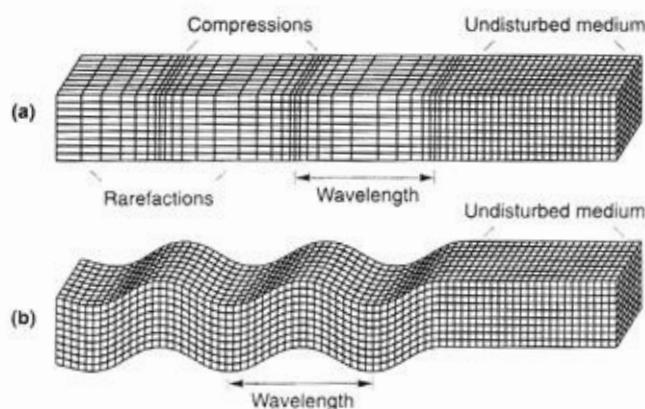
$$\rho \frac{\partial^2 \theta_z}{\partial t^2} = \mu \nabla^2 \theta_z \quad (19)$$

Persamaan (17), (18), dan (19) menyatakan persamaan gelombang transversal. Dari persamaan (17) dapat diperoleh kecepatan gelombang transversal atau dikenal dengan gelombang S sebagai

$$v_s = \left(\frac{\mu}{\rho}\right)^2 \quad (20)$$

dengan v_s adalah kecepatan gelombang S (m/s), μ adalah rigiditas atau modulus geser (N/m^2) dan ρ adalah densitas (Kg/m^3).

Gelombang seismik dibagi menjadi dua jenis, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*) (Telford, *et al.*, 1990). Gelombang badan (*body wave*) adalah gelombang yang menjalar dalam medium elastik serta arah rambatnya ke seluruh bagian di dalam Bumi. Berdasarkan gerak partikel pada media dan arah penjalarannya gelombang badan dibagi menjadi dua, yaitu gelombang primer atau longitudinal atau kompresional dan gelombang sekunder atau gelombang geser.



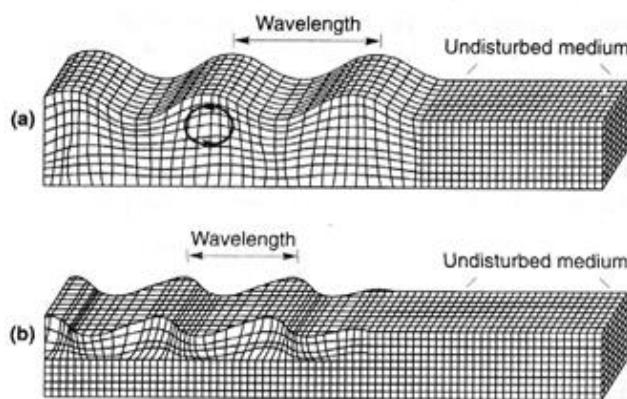
Gambar 3. Ilustrasi Gelombang Badan (a) Gelombang P (b) Gelombang S
(Kayal, 2008)

Gelombang primer (P) merupakan gelombang yang pertama kali terekam saat terjadi gempa bumi. Gelombang ini melewati semua medium dengan arah ke depan dan ke belakang sehingga medium mengalami kompresi dan dilatasi, seperti

ditunjukkan pada Gambar 3(a). Persamaan kecepatan gelombang P didefinisikan seperti persamaan (14).

Gelombang sekunder (S) merupakan gelombang yang tiba setelah gelombang primer. Gelombang ini hanya dapat merambat pada medium padat karena cairan dan gas tidak memiliki daya elastisitas untuk kembali ke bentuk asal. Gelombang S adalah gelombang transversal yang arah gerakan partikelnya tegak lurus terhadap arah penjalaran gelombangnya, seperti ditunjukkan pada Gambar 3(b). Persamaan kecepatan gelombang S didefinisikan seperti persamaan (20).

Gelombang permukaan (*surface wave*) merupakan gelombang yang lebih lambat namun lebih merusak jika dibandingkan dengan *body wave*. Gelombang ini merupakan gelombang dengan frekuensi rendah dan amplitudo besar karena pergerakan gelombangnya berada di permukaan Bumi. Terdapat dua jenis gelombang permukaan, yakni gelombang *Rayleigh* dan gelombang *Love*.



Gambar 4. Ilustrasi gelombang permukaan (a) Gelombang Rayleigh (b) Gelombang Love (Kayal, 2008)

Gelombang Rayleigh merupakan gelombang permukaan yang gerakan partikelnya merupakan kombinasi gerakan partikel yang disebabkan oleh

gelombang P dan gelombang S sehingga lintasan yang terbentuk dari gerak partikelnya menyerupai elips, seperti ditunjukkan pada Gambar 4(a). Gelombang Rayleigh adalah gelombang yang dispersif dengan periode yang lebih panjang sehingga lebih cepat menjalar di material yang lebih dalam dibandingkan gelombang yang memiliki periode pendek. Hal ini yang menjadikan gelombang Rayleigh sebagai alat yang sesuai untuk menentukan struktur bawah tanah di suatu area.

Sementara itu, Gelombang *Love* merupakan gelombang yang terbentuk akibat pantulan berulang antara permukaan bebas dan tidak dapat merambat dalam medium cair. Gelombang ini mirip dengan gelombang S yang tidak memiliki perpindahan vertikal dan hanya terpolarisasi secara horizontal, seperti ditunjukkan pada Gambar 4(b).

C. Mikrotremor

Mikrotremor adalah getaran alami yang berada dalam tanah dan bersifat kontinyu dengan amplitudo rendah. Getaran tersebut dapat ditimbulkan oleh peristiwa alam ataupun buatan, seperti angin, gelombang laut atau getaran kendaraan (Arai dan Tokimatsu, 2005). Sinyal mikrotremor terdiri dari tiga komponen yaitu dua komponen horizontal (Timur-Barat dan Utara-Selatan) dan satu komponen vertikal.

Mikrotremor memiliki amplitudo 0,1-1 mikron dan kecepatan amplitudo 0,001-0,01 cm/s. Mikrotremor dapat diklasifikasikan menjadi dua tipe berdasarkan periodenya, yaitu periode pendek untuk getaran yang periodenya kurang dari 1

detik dan periode panjang untuk getaran yang periodenya lebih dari 1 detik. Keadaan ini terkait dengan struktur tanah yang lebih dalam dan menunjukkan dasar dari batuan keras. Observasi mikrotremor dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan frekuensi predominan dan faktor amplifikasinya (Mirzaoglu dan Dykmen, 2003).

D. Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR)

Metode HVSR merupakan metode yang tersedia untuk pengolahan data mikrotremor dengan membandingkan komponen horizontal sinyal mikrotremor terhadap komponen vertikal. Metode HVSR didasarkan pada asumsi bahwa rasio spektrum horizontal dan vertikal dari getaran permukaan merupakan fungsi perpindahan. Hasil pengolahan dari metode ini adalah kurva H/V yang puncaknya menunjukkan informasi lokal (*site effect*) berupa nilai frekuensi predominan dan faktor amplifikasi dari gelombang yang terekam dalam tanah (Nakamura, 1989).

Site effect terjadi karena adanya 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 (Lermo dan Gracia, 1993). Faktor amplifikasi dari gerakan horizontal dan vertikal di permukaan tanah sedimen berdasarkan pada gerakan seismik yang bersentuhan langsung dengan batuan dasar di area cekungan, dilambangkan dengan T_H dan T_V (Nakamura, 1989).

$$T_{SITE} = \frac{T_H}{T_V} \quad (21)$$

Besarnya faktor amplifikasi horizontal (T_H) adalah

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (22)$$

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

Besarnya faktor amplifikasi vertikal (T_V) adalah

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (23)$$

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

Gelombang Rayleigh pada sinyal mikrotremor yang merambat pada lapisan sedimen di atas batuan dasar memiliki pengaruh yang besarnya sama untuk komponen vertikal dan horizontal saat rentang frekuensi 0,2 – 20 Hz, sehingga rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati satu.

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} \approx 1 \quad (24)$$

apabila dibulatkan menjadi

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} = 1 \text{ atau } \frac{S_{VB}}{S_{HB}} = 1 \quad (25)$$

Karena rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati nilai satu, maka gangguan yang terekam pada permukaan lapisan tanah akibat efek gelombang Rayleigh dapat dihilangkan, sehingga hanya ada pengaruh yang disebabkan oleh struktur geologi lokal atau *site effect* (Slob, 2007). Dengan mensubtitusikan persamaan (22) dan (23) ke persamaan (21) maka diperoleh

$$T_{SITE} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (26)$$

Persamaan tersebut kemudian menjadi dasar perhitungan rasio spektrum mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya (HVSR), sehingga dapat dinyatakan dengan persamaan (27).

$$HVSR = \frac{\sqrt{(S_{US})^2 + (S_{TB})^2}}{(S_V)^2} \quad (27)$$

dengan S_{US} adalah nilai amplitudo spektrum komponen utara-selatan, S_{TB} adalah nilai amplitudo spektrum komponen timur-barat, dan S_V adalah nilai amplitudo spektrum komponen vertikal.

E. *Ellipticity Curve*

Metode *ellipticity curve* merupakan salah satu metode *inverse modeling*, yaitu suatu metode yang digunakan untuk memperkirakan nilai numerik parameter model berdasarkan hasil observasi menggunakan model tertentu. Dengan metode ini, dapat juga dilakukan pencocokan data (*data fitting*) untuk mencari parameter model yang cocok dengan data pengamatan.

Metode *ellipticity curve* mengekstrak sifat-sifat fisis bawah permukaan yang tidak dapat ditentukan oleh metode HVSR, yang kemudian digunakan untuk mendapatkan parameter kecepatan gelombang geser permukaan (v_s) di titik pengukuran mikrotremor. Parameter bawah permukaan yang dimasukkan dalam metode *ellipticity curve* antara lain kecepatan gelombang geser v_s , kecepatan gelombang kompresi v_p , densitas batuan ρ , dan Poisson ratio σ (Patimah, 2017).

Poisson *ratio* adalah ukuran perubahan geometri, yaitu perbandingan antara perubahan bentuk regangan horizontal (*lateral strain*) dan regangan vertikal (*axial strain*) yang disebabkan oleh penekanan axial tertentu yang dapat mengubah bentuk yang tidak terbatas. Dengan kata lain, Poisson *ratio* adalah sifat elastisitas yang dimiliki batuan yang mengindikasikan tingkat rekahan (*fracturing*) yang mana nilainya akan lebih tinggi dari kondisi normal pada batuan yang terisi cairan. Secara umum, nilai Poisson *ratio* berkisar antara 0,1 hingga 0,5. Nilai Poisson *ratio* untuk material berbeda ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Poisson *ratio* (Subramanian, 2008)

Jenis Batuan	Poisson Ratio (σ)
Lempung (tersaturasi)	0,4 – 0,5
Lempung (tidak tersaturasi)	0,1 – 0,3
Lempung-pasir	0,2 – 0,3
Lumpur	0,3 – 0,35
Pasir	0,2 – 0,4
Batuhan	0,1 – 0,4
Loess	0,1 – 0,3
Es	0,36
Beton	0,15

Densitas atau kerapatan batuan adalah besarnya kompresi yang dialami suatu batuan, umumnya semakin bertambah kedalaman lapisan semakin besar pula kompresi yang dialami, sehingga memiliki densitas yang lebih besar. Nilai variasi densitas setiap batuan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Variasi Densitas Batuan (Telford, *et al.*, 1990)

Jenis Batuan	Densitas (g/cm ³)	Jenis Batuan	Densitas (g/cm ³)	Jenis Batuan	Densitas (g/cm ³)
<i>Aluvium</i>	1,96-2,00	<i>Schist</i>	2,39-2,90	<i>Riolit</i>	2,35-2,70
<i>Clay</i>	1,63-2,60	<i>Gneiss</i>	2,59-3,00	<i>Granit</i>	2,50-2,81
<i>Gravel</i>	1,70-2,40	<i>Phyllite</i>	2,68-2,80	<i>Andesit</i>	2,40-2,80
<i>Silt</i>	1,40-1,93	<i>Slate</i>	2,70-2,90	<i>Synite</i>	2,60-2,95
<i>Soil</i>	1,83-2,20	<i>Granulite</i>	2,52-2,70	<i>Basalt</i>	2,70-3,30
<i>Sand</i>	1,20-2,40	<i>Amphibolite</i>	2,90-3,04	<i>Gabro</i>	2,70-3,30
<i>Sandstone</i>	1,61-2,76	<i>Eclogite</i>	3,20-3,54		
<i>Shale</i>	1,77-3,20				
<i>Limestone</i>	1,93-2,90				

Salah satu faktor yang mempengaruhi perbedaan kecepatan gelombang seismik adalah litologi atau jenis batuan yang berada di bawah permukaan. Setiap jenis batuan memiliki kekerasan dan elastisitas yang berbeda-beda, sehingga menyebabkan gelombang yang merambat di suatu lapisan batuan juga memiliki kecepatan yang berbeda-beda pula. Klasifikasi nilai v_s dan v_p ditunjukkan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Klasifikasi Nilai Kecepatan Gelombang Kompresi menurut Kohnen (1974) dalam (Samsudin, 2018)

Material	v_p (m/s)	Material	v_p (m/s)
<i>Loess</i>	300-600	<i>Gypsum</i>	2000-3500
<i>Soil</i>	100-500	<i>Shales</i>	2000-4100
<i>Sand (loose)</i>	200-2000	<i>Granites</i>	4600-6200
<i>Sand (dry, loose)</i>	200-1000	<i>Basalts</i>	5500-6500
<i>Sand (saturated)</i>	1500-2000	<i>Gabbro</i>	6400-7000
<i>Glacial moraine</i>	1500-2700	<i>Peridotite</i>	7800-8400
<i>Sand-gravel</i>	400-2300	<i>Serpentinite</i>	5500-7600
<i>Clay</i>	1000-2500	<i>Gneiss</i>	3500-7600
<i>Alluvium</i>	1800-2200	<i>Marbles</i>	3780-7000
<i>Sandstone</i>	1400-4500	<i>Sulphide ores</i>	3950-6700
<i>Limestone (soft)</i>	1700-4200	<i>Concrete</i>	3000-3500
<i>Limestone (hard)</i>	2800-7000	<i>Disturbed soil</i>	180-335
<i>Dolomite</i>	2500-6500		

Tabel 6. Klasifikasi *Site* berdasarkan Nilai Kecepatan Gelombang Geser Hasil Penyelidikan Tanah dan Laboratorium (Badan Standarisasi Nasional, 2012)

Klasifikasi <i>Site</i>	Kecepatan Gelombang Geser v_s (m/s)
Batuan keras	$v_s \geq 1500$
Batuan	$750 < v_s \leq 1500$
Tanah keras dan batuan lunak	$350 < v_s \leq 750$
Tanah sedang	$175 < v_s \leq 350$
Tanah lunak	$v_s \leq 175$

F. Frekuensi Predominan dan Ketebalan Sedimen

Frekuensi predominan adalah nilai frekuensi yang sering muncul sehingga disebut sebagai nilai frekuensi alami pada suatu wilayah pengukuran. Dengan kata lain frekuensi predominan dapat menunjukkan jenis dan karakteristik lapisan tanah atau batuan pada wilayah tersebut. Klasifikasi tanah oleh Kanai berdasarkan nilai frekuensi predominan ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Klasifikasi Tanah berdasarkan Nilai Frekuensi Predominan menurut Kanai (Arifin, *et al.*, 2013)

Klasifikasi Tanah	Frekuensi Predominan (Hz)	Deskripsi Tanah
Jenis I	6,67 – 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan pasir berkerikil keras (<i>hard sandy gravel</i>).
Jenis II	4 – 6,67	Batuan alluvial dengan ketebalan 5m. Terdiri dari pasir berkerikil (<i>sandy gravel</i>), lempung keras berpasir (<i>sandy hard clay</i>), tanah liat, lempung (<i>loam</i>) dan sebagainya.
Jenis III	2,5 – 4	Batuan alluvial yang hampir sama dengan tanah jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi yang belum diketahui (<i>buff formation</i>).
Jenis IV	< 2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpur, tanah lunak, humus, endapan delta atau endapan lumpur dll, yang tergolong ke dalam tanah lembek, dengan kedalaman 30m.

Lapisan lapuk atau sedimen tersusun atas material berukuran halus (lanau-lempung) yang belum terkonsolidasi baik (Fah, *et al.*, 2001). Material tersebut dianggap sangat baik menyerap air namun tidak dapat mendistribusikannya dengan baik. Material yang sangat rentan terhadap getaran ini dapat mengalami longsor ketika volumenya bertambah akibat terserapnya air sehingga menimbulkan gerakan material secara massal. Daerah dengan lapisan lapuk yang tebal memiliki tingkat bahaya yang lebih tinggi terhadap bencana tanah longsor karena volume lapisan lapuk yang berisi material halus mudah mengalami deformasi atau perpindahan massa.

Ketebalan sedimen dapat diestimasi dengan rasio spektrum H/V. Metode HVSR didasari oleh terperangkapnya getaran gelombang S_H pada lapisan sedimen di atas *bedrock*. Besarnya frekuensi predominan pada bawah permukaan tanah dapat dinyatakan dengan persamaan (28) (Nakamura, 2008)

$$f_0 = \frac{v_s}{4H} \quad (28)$$

sehingga untuk mengetahui ketebalan lapisan lapuk suatu daerah dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (29).

$$H = \frac{v_s}{4f_0} \quad (29)$$

dimana v_s adalah kecepatan gelombang *shear* di lapisan sedimen.

G. Faktor Amplifikasi

Faktor amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan. Gelombang seismik akan mengalami perbesaran apabila merambat pada suatu medium yang lebih lunak

dibandingkan medium awal yang dilaluinya. Semakin besar kontras parameter perambatan gelombang (densitas dan kecepatan) pada kedua lapisan tersebut, maka nilai amplifikasi akan semakin tinggi (Nakamura, 2000).

Nilai faktor amplifikasi dapat bertambah apabila lapisan tanah atau batuan telah mengalami deformasi (pelapukan, pelipatan, dan pesesaran) yang mengubah sifat batuan. Pada batuan yang sama, nilai amplifikasi dapat bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi pada pelapukan tubuh batuan tersebut. Berdasarkan pengertian tersebut, maka amplifikasi dapat dituliskan dalam persamaan (Nakamura, 1997).

$$A = \frac{v_b}{V_s} \quad (30)$$

Nilai faktor amplifikasi dapat dikelompokkan dalam empat zona, yaitu rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi. Klasifikasi tersebut dipaparkan oleh Ratdomopurbo (2008) yang ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi (Ratdomopurbo, 2008)

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

H. Indeks Kerentanan Seismik

Indeks kerentanan seismik merupakan indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah terhadap deformasi. Beberapa faktor yang mempengaruhi indeks kerentanan seismik di antaranya adalah sedimen yang memiliki soliditas rendah, sehingga mempengaruhi faktor amplifikasi atau perbesaran gelombang

seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan (Fah, *et al*, 2006).

Nilai regangan (γ) pada lapisan tanah menggambarkan kemampuan material lapisan tanah untuk bergeser. Besarnya pergeseran regangan tanah dapat dirumuskan sebagai (Nakamura, 1997)

$$\gamma = \frac{Ad}{H} \quad (31)$$

dengan A adalah faktor amplifikasi, H adalah ketebalan sedimen (m), dan d adalah pergeseran gelombang seismik di bawah permukaan tanah (m). Sedangkan berdasarkan persamaan (30), nilai frekuensi predominan pada persamaan (28) dapat dituliskan sebagai berikut.

$$f_0 = \frac{v_b}{4AH} \quad (32)$$

Percepatan di bawah permukaan tanah (α) dinyatakan sebagai (Nakamura, 1997)

$$\alpha = (2\pi f_0)^2 d \quad (33)$$

sehingga perpindahan seismik dari bawah permukaan tanah dapat ditentukan menggunakan persamaan

$$d = \frac{\alpha}{(2\pi f_0)^2} \quad (34)$$

Jika persamaan (32) dan (34) disubtitusikan pada persamaan (30), maka akan diperoleh

$$\gamma = K_g \alpha \quad (35)$$

sehingga besarnya indeks kerentanan seismik (K_g) adalah (Nakamura, 1997).

$$K_g = \frac{A^2}{\pi^2 f_0 v_b} \quad (36)$$

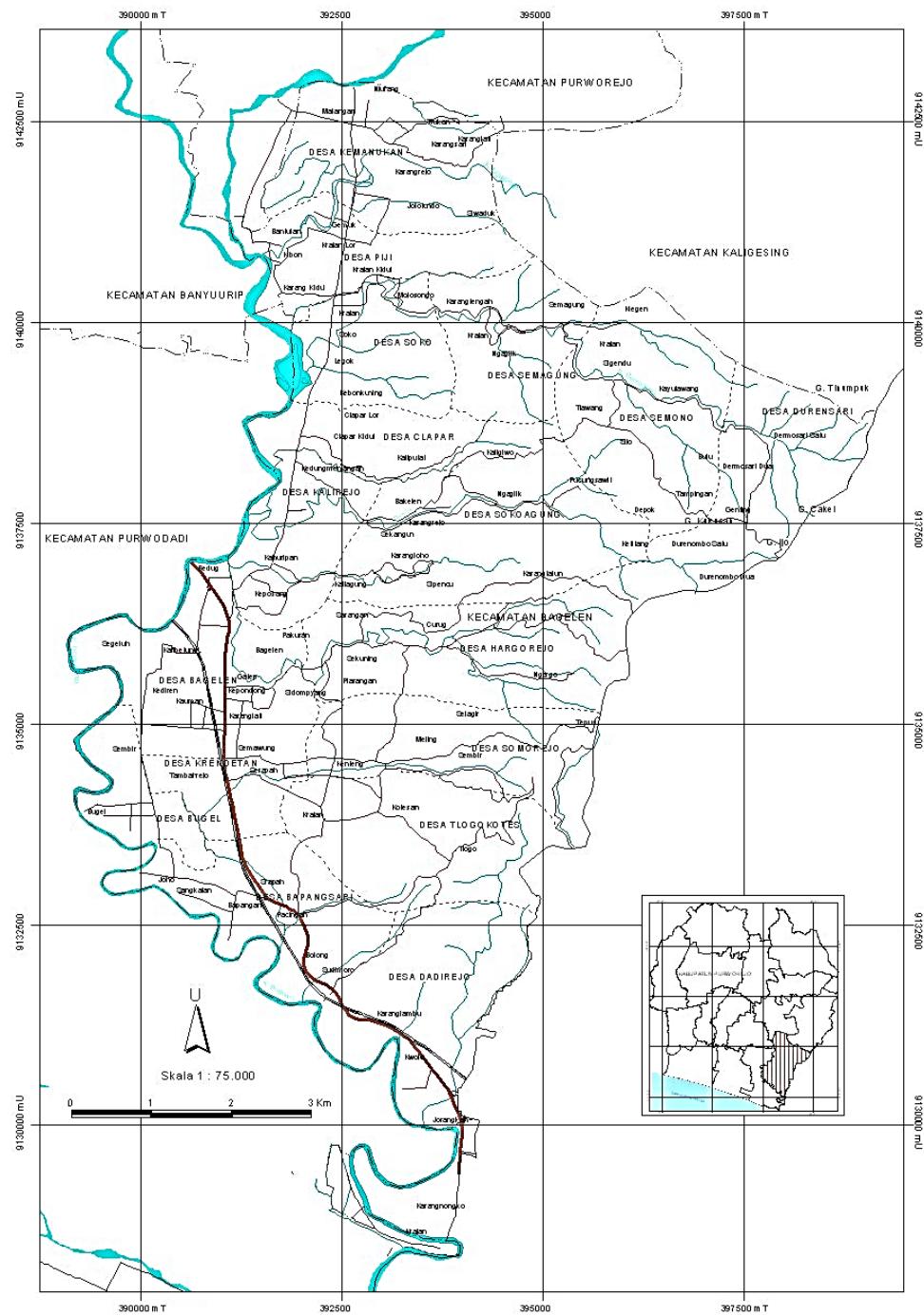
dimana A adalah faktor amplifikasi, f_0 adalah frekuensi predominan dan v_b adalah kecepatan gelombang *shear* di bawah lapisan sedimen (lapisan dasar atau *bedrock*).

I. Kecamatan Bagelen

Kecamatan Bagelen merupakan wilayah yang terletak di ujung tenggara Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah. Secara administrasi wilayahnya berbatasan langsung dengan Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta di sisi timur dan selatan, dengan Kecamatan Purwodadi di sisi barat, Kecamatan Kaligesing di sisi timur, dan dengan Kecamatan Purworejo di sisi utara. Jumlah penduduk di Kecamatan Bagelen mencapai 29.240 jiwa yang terbagi di 17 desa seluas 50,96 km² (BPS Kabupaten Purworejo, 2016). Peta administrasi Kecamatan Bagelen ditunjukkan pada Gambar 5.

Secara geografis, Kecamatan Bagelen merupakan wilayah berupa daratan rendah hingga tinggi yang sebagian wilayahnya masuk dalam gugusan lereng Pegunungan Menoreh. Wilayah dengan ketinggian 0 – 325 mpdl tersebut memiliki kemiringan lereng berkisar antara 1% hingga 45%. Wilayah tersebut memiliki iklim tropika basah dengan curah hujan berkisar 2000-3000 mm/tahun (Dewi, 2017).

Secara stratigrafis, Kecamatan Bagelen tersusun oleh Formasi Andesit Tua, Formasi Kebobotak, dan Alluvium. Formasi Andesit Tua tersusun atas breksi andesit, tuff, tuff lapili, agglomerat dan sisipan aliran lava andesit dengan ketebalan 500 meter. Batuan penyusun formasi ini berasal dari kegiatan aktivitas vulkanisme



Legenda :

----- Batas Desa	Jalan Arteri
- - - - - Batas Kecamatan	Jalan Kereta Api
- - - - - Batas Kabupaten	Jalan Kolektor
- - - - - Batas Propinsi	Jalan Lain
Sungai	Jalan Lokal



Sumber :
Peta Rupa Bumi Indonesia Skala 1 : 25.000

Gambar 5. Peta Administrasi Kecamatan Bagelen Kabupaten Purworejo
(Pusat Studi Bencana UGM dan BAPEDA Purworejo, 2004)

yang ada di wilayah tersebut, yakni gunung api purba seperti Gunung Ijo di bagian selatan Pegunungan Kulon Progo. Formasi ini berumur Oligosen akhir hingga Miosen awal. Formasi Kebobutak secara umum terdiri dari konglomerat, batu pasir, dan batu lempung. Formasi ini terbentuk pada Miosen Awal hingga Miosen Tengah. Alluvium terdiri atas endapan-endapan kerakal, pasir, lanau, dan lempung sepanjang sungai yang besar dan daratan pantai. Alluvium sungai berdampingan dengan rombakan gunung api (Bemmelen, 1949).

J. Kerangka Berpikir

Penelitian dilakukan di Kecamatan Bagelen yang merupakan wilayah dengan kerentanan longsor dari rendah hingga tinggi. Data yang diperoleh dari penelitian berupa sinyal mikrotremor yang kemudian diolah dengan metode HVSR. Pengolahan dilakukan dengan menggunakan *software Geopsy* yang kemudian diperoleh parameter sinyal mikrotremor berupa frekuensi predominan dan faktor amplifikasi dalam bentuk kurva H/V. Kurva tersebut kemudian diolah dalam metode *ellipticity curve* dengan memasukkan parameter kecepatan gelombang P, kecepatan gelombang S, Poisson ratio dan kerapatan batuan dari wilayah penelitian untuk diperoleh *ground profile* yang menampilkan lapisan-lapisan bawah permukaan beserta nilai kecepatan gelombang geser dan nilai kedalamannya. Nilai frekuensi predominan, faktor amplifikasi, dan kecepatan gelombang geser kemudian digunakan untuk perhitungan nilai indeks kerentanan seismik berdasarkan persamaan (36).

Identifikasi daerah longsor di Kecamatan Bagelen diketahui melalui pemetaan dan pemodelan parameter-parameter yang telah diperoleh dari analisis, yaitu frekuensi predominan, faktor amplifikasi, indeks kerentanan seismik dan ketebalan sedimen. Titik-titik kejadian longsor kemudian dioverlay dalam hasil pemetaan dan pemodelan, sekaligus dikorelasikan dengan topografi titik kejadian longsor.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Pengukuran mikrotremor dilakukan pada tanggal 6-9 September 2017 di 8 desa yang berada pada Kecamatan Bagelen, yakni Desa Krendetan, Desa Kalirejo, Desa Hargorojo, Desa Clapar, Desa Soko, Desa Sokoagung, Desa Semagung, dan Desa Semono. Pengukuran dilakukan di koordinat $7^{\circ}46'40,58''$ - $7^{\circ}49'23,99''$ LS dan $110^{\circ}1'22,65''$ - $110^{\circ}3'33,46''$ BT yang terbagi menjadi 32 titik pengukuran dengan jarak antar titik sebesar 1 km.

B. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian terdiri dari perangkat lunak dan perangkat keras.

1. Perangkat lunak (*software*)

Adapun perangkat lunak yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. *Global Mapper 18* sebagai register peta.
- b. *Surfer 10* untuk pembuatan peta desain penelitian dan peta mikrozonasi.
- c. *Google Earth* untuk mengetahui gambaran lokasi penelitian seperti topografi.
- d. *Sesarray Geopsy* untuk mengolah sinyal mikrotremor sehingga diperoleh kurva H/V.
- e. *Dinver* dalam *Sesarray Geopsy* untuk menganalisis kurva H/V dengan metode *ellipticity curve* sehingga diketahui litologi bawah permukaannya.

- f. *Rockworks 15* untuk memodelkan kedalaman bidang gelincir dan amplifikasi tanah pada titik-titik penelitian.

2. Perangkat keras (*hardware*)

Adapun perangkat keras yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. *Digital Portable Seismograph* merk Taide tipe TDL-3035 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 sebagai alat perekam sinyal mikrotremor yang terdiri dari beberapa perangkat:



Gambar 6. *Digital Portable Seismograph* (a) *Digitizer* (b) *Seismometer*
(c) *Antenna GPS*

- 1) Seismometer merk Taide tipe TDV-23S, merupakan sensor yang dapat menangkap sinyal getaran tanah.
- 2) *Digitizer* berfungsi mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital.
- 3) Antenna GPS sebagai penerima data lokasi dan waktu pengambilan data dari satelit.
- 4) Satu set kabel penghubung.

- b. Laptop untuk mengunduh dan menyimpan sinyal mikrotremor dari digitizer, serta sebagai media pengolahan data dan penyusunan skripsi.
- c. *Global Positioning System* (GPS) merk Garmin tipe 78S untuk mengetahui dan menandai titik koordinat penelitian, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.
- d. Kompas untuk menentukan arah barat sebelum pemasangan seismometer, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 7. GPS Garmin 78S



Gambar 8. Kompas

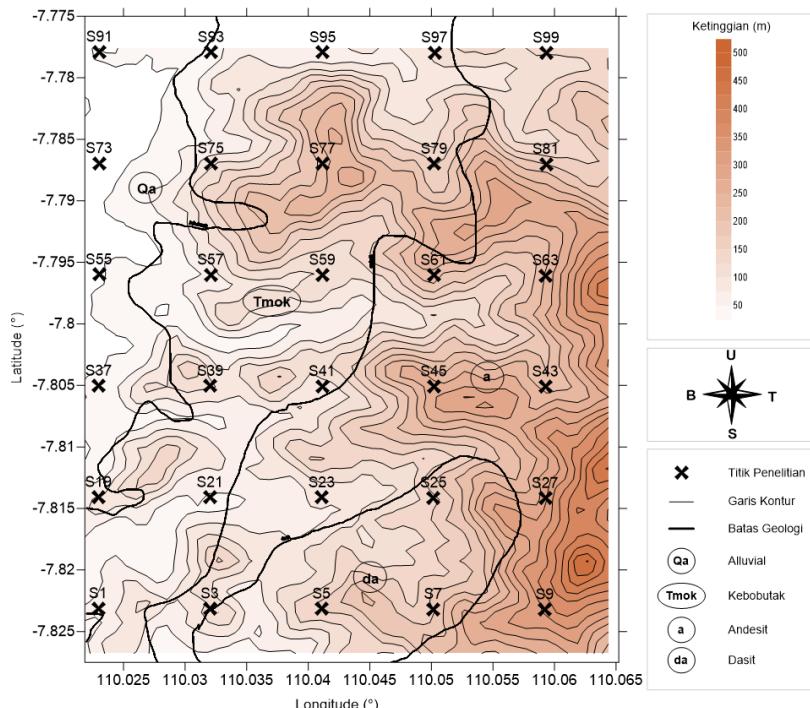
C. Teknik Pengambilan Data

1. Survei

Pada tahap ini dilakukan survei ke Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo untuk melihat kondisi dan mencari informasi terkait bencana tanah longsor yang terjadi. Hal ini bertujuan untuk mengetahui batasan wilayah yang akan diteliti serta sebagai acuan pembuatan desain survei penelitian. Pembuatan desain survei diawali dengan meregister peta geologi lembar Yogyakarta di *Global Mapper 16* dan diubah menjadi format TIFF agar dalam proses pembuatan desain di *Surfer 10* dapat ditambahkan dengan titik koordinat. Dalam desain survei

ditentukan 30 titik penelitian yang dibuat dalam bentuk *grid* dengan spasi (jarak antar titik) adalah 1 Km seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.

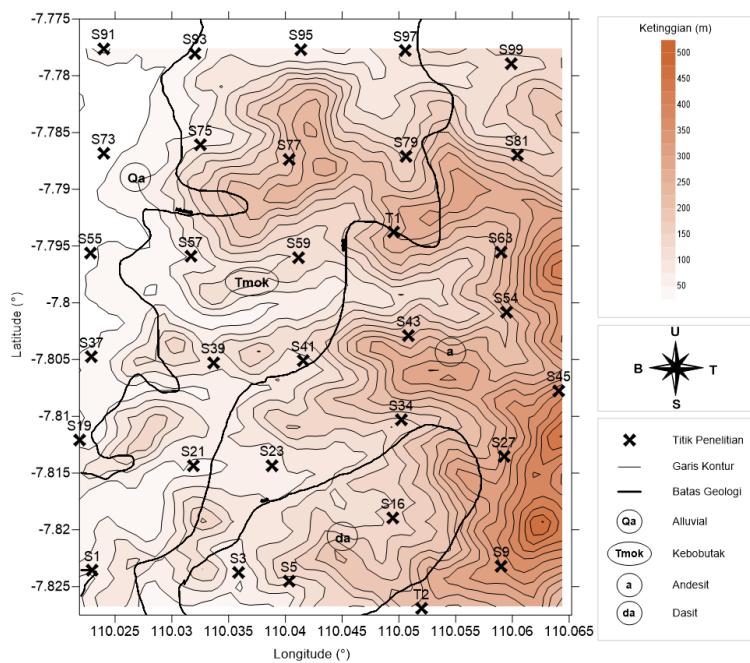
Setelah pembuatan desain survei, tahap selanjutnya adalah melakukan survei kembali ke lapangan. Namun terlebih dahulu perlu dilakukan peninjauan di *Google Earth* untuk mengetahui kondisi wilayah seperti topografi dan akses jalan menuju titik-titik tersebut. Titik-titik koordinat lokasi penelitian kemudian dimasukkan dalam GPS agar dapat memandu peneliti menuju titik koordinat lokasi pengukuran, mengetahui seberapa jauh *offside* lokasi yang dapat dijangkau dari lokasi yang sudah ditentukan, serta menandai lokasi baru tersebut di dalam GPS. Selain terjangkau atau tidaknya lokasi penelitian, *offside* juga dapat dilakukan apabila kondisi titik lokasinya tidak sesuai dengan persyaratan teknis survei mikrotremor yang tertera dalam SESAME pada Tabel 9.



Gambar 9. Desain Survei Penelitian

2. Pengambilan data

Pengambilan data dilakukan pada setiap titik koordinat penelitian. Terdapat beberapa lokasi penelitian yang bergeser dari titik awal karena berdekatan dengan pohon besar, bangunan, sungai, atau berada di semak-semak. Dilakukannya pergeseran titik tersebut mengacu pada persyaratan yang disarankan oleh SESAME, sehingga desain pengambilan data seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Desain Pengambilan Data

Pengukuran dilakukan dengan frekuensi *sampling* sebesar 100 Hz dengan waktu pengambilan data rata-rata 30-45 menit. Sinyal yang ditangkap oleh seismometer secara otomatis tersimpan dalam *datalogger (digitizer)* yang terekam dalam 3 komponen, yaitu komponen vertikal (*up-down*), komponen horizontal *north-south*, dan komponen horizontal *east-west*. Setelah pengukuran selesai, data

yang tersimpan dalam *digitizer* kemudian diunduh dalam laptop dan disimpan dalam format *file .MSD*.

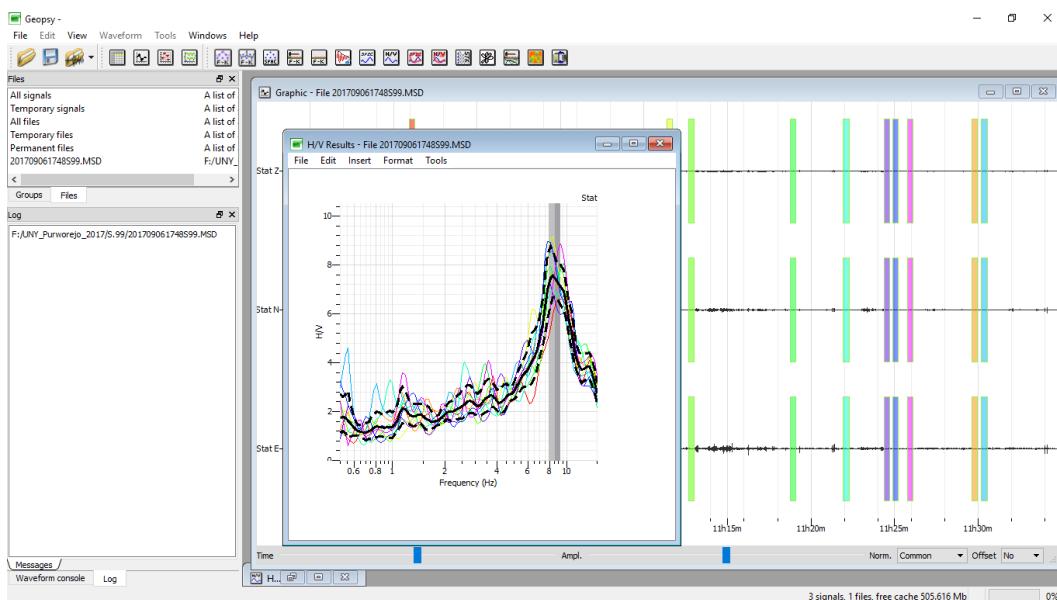
Tabel 9. Persyaratan Teknis Survei Mikrotremor (SESAME, 2004)

Jenis parameter	Saran yang dianjurkan	
Durasi pencatatan	f_g 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 (artifisial)	<ol style="list-style-type: none"> Hindari lempengan yang terbuat dari material lunak seperti karet atau busa. Pada kemiringan yang curam dimana 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"> Apabila tiupan angin di atas ± 5m/det, hindari pengukuran dekat dengan bangunan, gedung bertingkat, dan pohon yang tinggi. 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/det). Hujan: Hindari pengukuran pada saat hujan lebat. Hujan ringan tidak memberikan gangguan berarti. Suhu: Mengecek kondisi sensor dan mengikuti intruksi 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> (langkah kaki, kendaraan melintas) tingkatkan durasi pengukuran untuk memberikan jendela yang cukup untuk analisis setelah gangguan tersebut hilang. 	

D. Teknik Analisis Data

1. Menganalisis sinyal mikrotremor

Sinyal mikrotremor yang diperoleh dari pengukuran kemudian diolah dengan *software Geopsy* untuk memperoleh Kurva H/V, sehingga dapat diketahui nilai frekuensi predominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A) pada setiap titik pengukuran. Proses yang dilakukan adalah dengan melakukan *windowing* dan *cutting* sinyal mikrotremor tanpa *noise*. Pengolahan sinyal mikrotremor ditunjukkan pada Gambar 11.

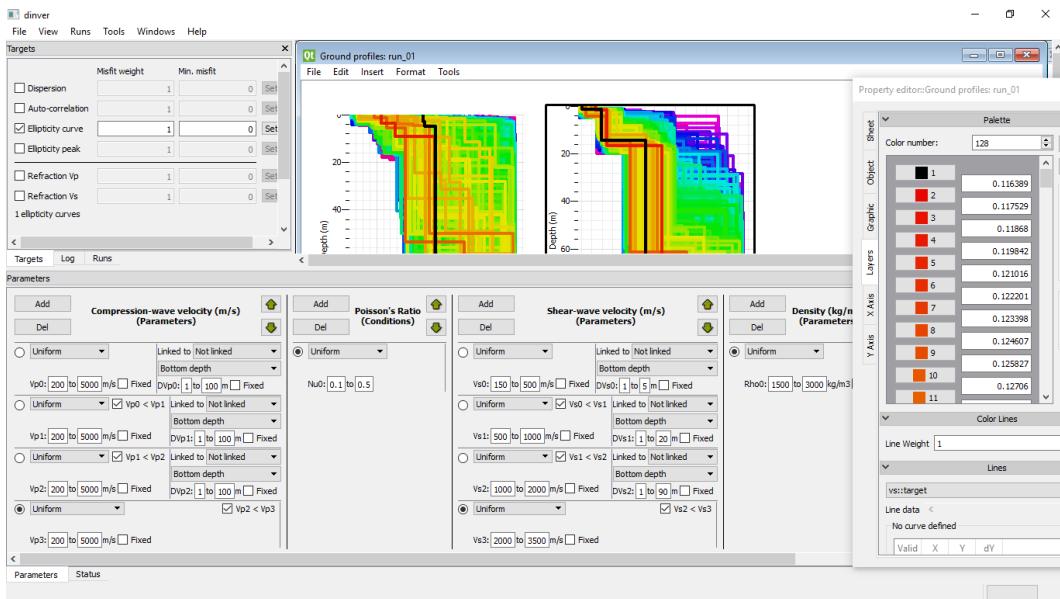


Gambar 11. Analisis Sinyal Mikrotremor dengan *software Geopsy*

2. Menganalisis Kurva H/V untuk menentukan lapisan bawah permukaan

Kurva HVSR yang disimpan dalam format .hv kemudian digunakan sebagai masukan di *Dinver* untuk diolah dengan metode *ellipticity curve*. Selain itu, pengolahan dilakukan dengan mengisi parameter kondisi geologi di suatu titik pengukuran seperti kecepatan gelombang primer (v_p), kecepatan gelombang

sekunder (v_s), Poisson ratio (σ), dan kerapatan tanah (ρ). Kecocokan antara kurva H/V dengan parameter-parameter yang dimasukkan dapat diketahui dari *misfit* yang bernilai < 1 . Kecocokan terbaik dipilih sebagai hasil pengolahan. Pengolahan ini ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Analisis Kurva H/V untuk menentukan lapisan bawah permukaan dengan program *Dinver*

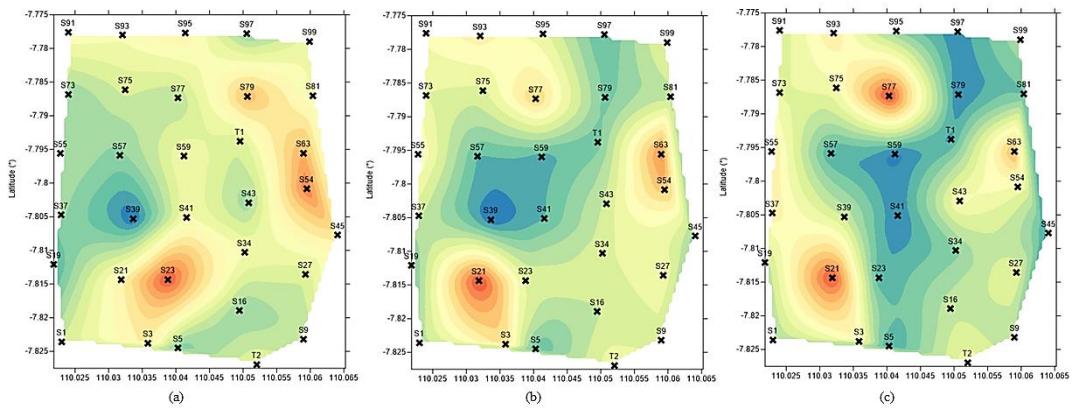
Hasil pengolahan yang dihasilkan adalah *ground profile* yang menunjukkan kecepatan gelombang geser (v_s) termasuk jumlah lapisan serta nilai v_s dan kedalaman setiap lapisannya (h), seperti yang ditunjukkan pada Tabel 10. *Ground profile* tersebut digunakan untuk menentukan nilai kecepatan gelombang geser di lapisan sedimen (V_s) serta kecepatan gelombang geser di lapisan *bedrock* (v_b).

Tabel 10. Penentuan *Ground Profile* Hasil Pengolahan dengan Metode *Ellipticity Curve di Dinver*

<i>Misfit</i>	<i>Ground Profile</i>	v_s (m/s)	h (m)	Jenis Lapisan	Kecepatan (m/s)
0,116		220,836	1,375	Sedimen (V_s)	404,65
		588,469	14,253		
		1128,78	75,111	<i>Bedrock</i> (v_b)	1128,78
		2775,91	100		

3. Mikrozonasi

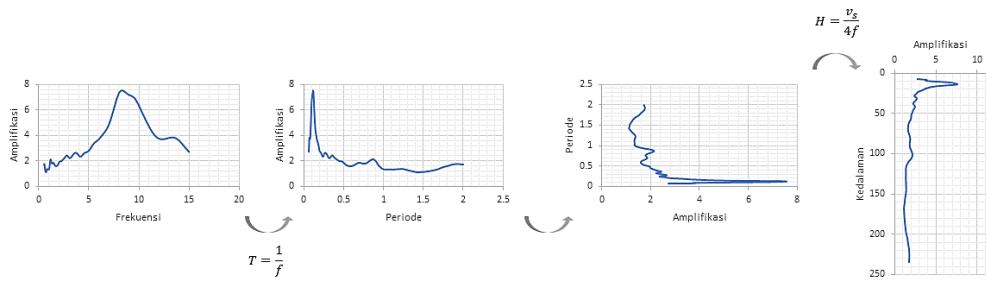
Mikrozonasi adalah proses memetakan persebaran nilai dari suatu parameter. Proses ini dilakukan menggunakan *software Surfer* dengan metode *gridding*. Nilai-nilai dari parameter yang dimasukkan akan diinterpolasi dan ditampilkan dalam peta kontur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13. Parameter yang dimikrozonasi antara lain nilai frekuensi predominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A) yang diperoleh dari kurva H/V, serta indeks kerentanan seismik (K_g) yang diperoleh dari perhitungan pada persamaan 36. Melalui hasil mikrozonasi tersebut kemudian dianalisis bagaimana persebaran nilai ketiga parameter tersebut di titik longsor Kecamatan Bagelen.



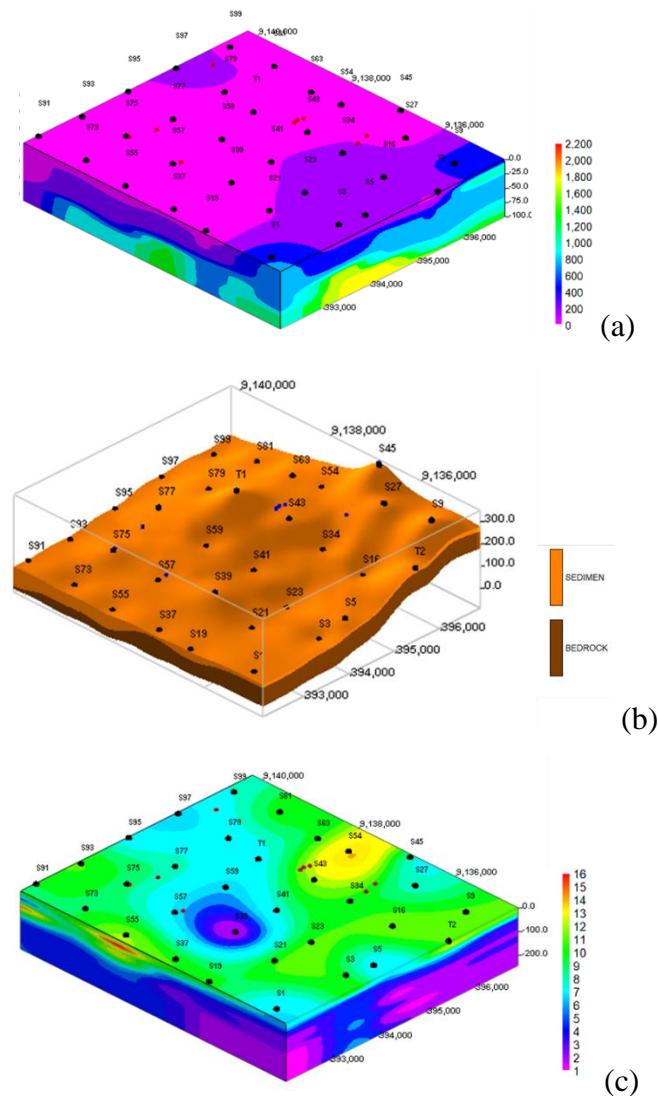
Gambar 13. Mikrozonasi (a) Frekuensi Predominan (b) Faktor Amplifikasi dan (c) Indeks Kerentanan Seismik dengan *software Geopsy*

4. Pemodelan 3D

Pemodelan 3D dilakukan dengan *software Rockworks 15*. Pemodelan pertama adalah *solid model* dari nilai kecepatan gelombang geser (v_s) di seluruh titik pengukuran. Pemodelan kedua adalah pemodelan lapisan sedimen dan *bedrock* dengan cara mengisi *borehole* di *software Rockworks*. Pemodelan ketiga adalah *solid model* dari nilai amplifikasi (A) di seluruh titik pengukuran. Sebelumnya, untuk pemodelan ketiga ini dilakukan proses pengubahan kurva H/V menjadi kurva nilai amplifikasi terhadap kedalaman seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14. Hasil dari ketiga pemodelan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15, kemudian dianalisis bagaimana hubungannya dengan kejadian longsor yang ada di Kecamatan Bagelen.



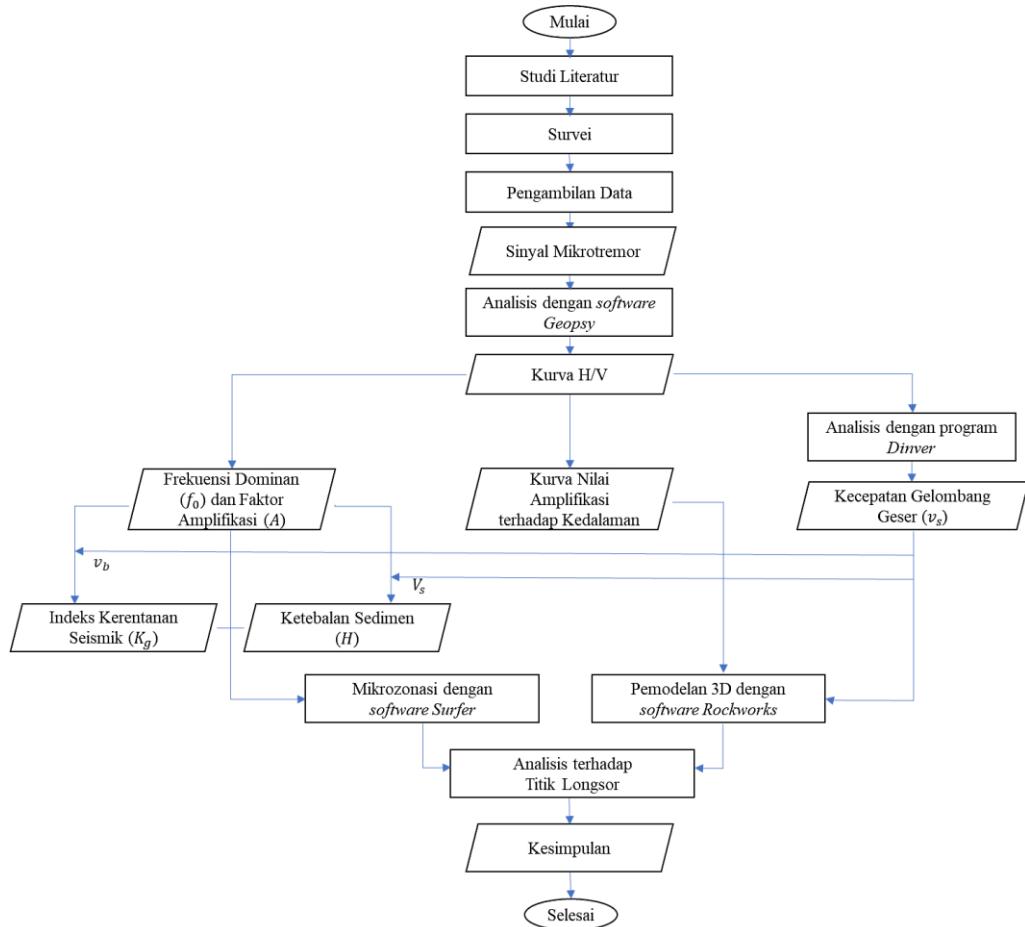
Gambar 14. Skema Pengubahan Kurva H/V menjadi Kurva Amplifikasi-Kedalaman



Gambar 15. Pemodelan 3D (a) Kecepatan Gelombang Geser (b) Lapisan Sedimen (c) Amplifikasi terhadap Kedalaman

E. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Identifikasi daerah rawan longsor di Kecamatan Bagelen diperoleh dari pemetaan dan pemodelan hasil penelitian berupa nilai frekuensi predominan (f_0), faktor amplifikasi (A), ketebalan sedimen (H), dan indeks kerentanan seismik (K_g) yang dikorelasikan dengan topografi daerah penelitian serta titik kejadian longsor.

A. Frekuensi Predominan

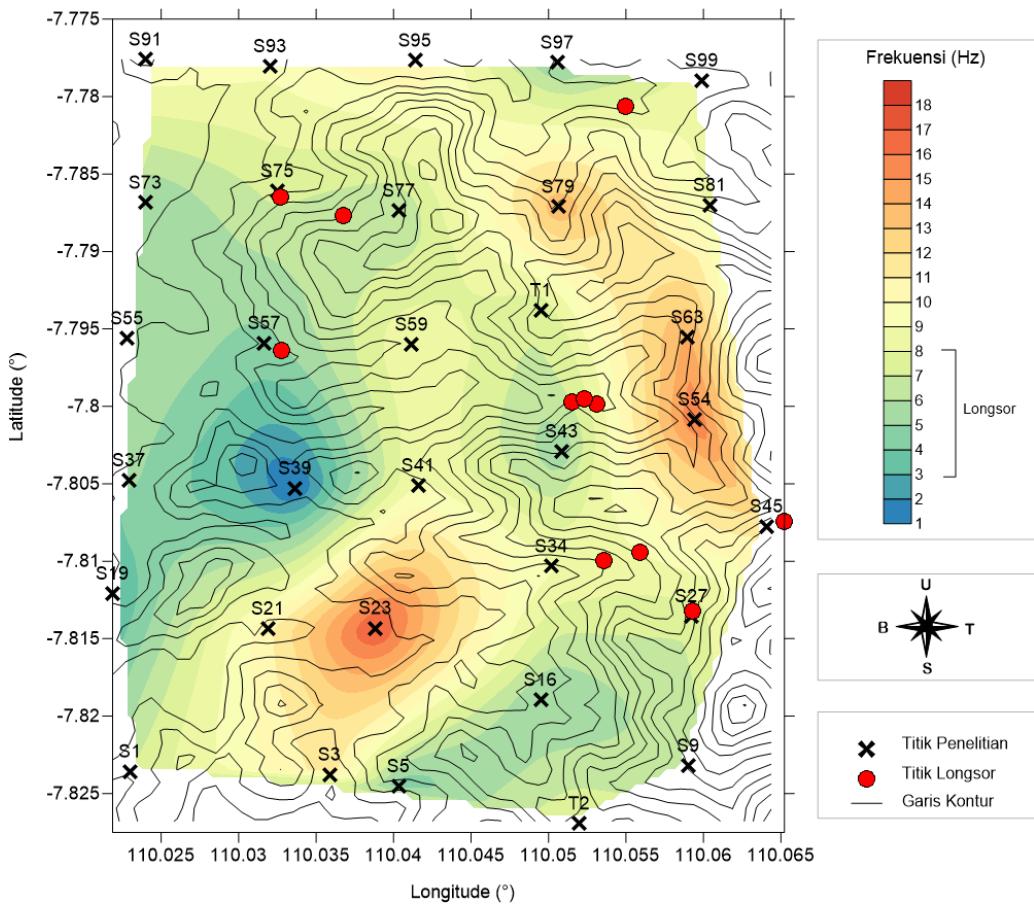
Frekuensi predominan merupakan frekuensi alami atau frekuensi yang sering muncul di suatu wilayah. Nilai frekuensi predominan berkaitan dengan ketebalan lapisan sedimen. Wilayah dengan ketebalan lapisan sedimen yang dalam cenderung memberikan respon getaran panjang sehingga menimbulkan frekuensi predominan rendah, sedangkan wilayah yang memiliki ketebalan lapisan sedimen lebih tipis menunjukkan nilai frekuensi predominan yang tinggi.

Kecamatan Bagelen berada pada empat formasi geologi, yaitu Formasi Aluvium, Formasi Kebobotak, Formasi Andesit dan Formasi Dasit. Nilai frekuensi predominan di Kecamatan Bagelen berkisar antara 0,78 Hz hingga 17,44 Hz. Persebaran nilai frekuensi predominan tersebut dapat diklasifikasikan dalam empat jenis tanah yang didasarkan pada formasi geologi yang berada di Kecamatan Bagelen, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Klasifikasi Tanah berdasarkan Formasi dan Nilai Frekuensi Predominan

Formasi	Material Penyusun	Frekuensi Predominan (Hz)	Titik Penelitian	Jenis Tanah*	Deskripsi Tanah*
Aluvium	Material endapan, kerakal, pasir lanau, dan lempung	7,02 - 9,94	S1, S91	I	Batuan pasir, kerikil dan lempung. Batuan alluvial dari sedimentasi atau endapan, <i>top soil</i> , dan formasi yang belum diketahui (<i>buff formation</i>)
		4,92 - 5,98	S37, S55, S73,	II	
		2,57	S19	III	
Kebobotak	Batu pasir, batu lempung, konglomerat	7,35 - 13,96	S21, S41, S59, S75, S79, S93, S95,	I	Batuan tersier (tua) berupa batuan keras (<i>hard sandy gravel</i>), pasir kerikil (<i>sandy gravel</i>), lempung keras (<i>sandy hard clay</i>), tanah liat (<i>loam</i>) ditambah dengan adanya batuan alluvial endapan.
		4,64 - 5,97	S57, S77, S97	II	
		0,78	S39	IV	
Andesit	Breksi-andesit, tuf, agglomerat	7,14 - 17,44	S23, S27, S34, S45, S54, S63, S81, S99, T1, T2	I	Batuan tersier (tua) berupa batuan keras (<i>hard sandy gravel</i>), pasir kerikil (<i>sandy gravel</i>), lempung keras (<i>sandy hard clay</i>), tanah liat (<i>loam</i>).
		5,14 – 6,03	S9, S43,	II	
Dasit	Dasit, terobosan andesit	11,48	S3	I	Batuan tersier (tua) berupa batuan keras (<i>hard sandy gravel</i>), pasir kerikil (<i>sandy gravel</i>), lempung keras (<i>sandy hard clay</i>), tanah liat (<i>loam</i>).
		4,34 – 4,88	S5, S16	II	

*) Klasifikasi tanah menurut Kanai (Arifin, *et al.*, 2013)



Gambar 17. Mikrozonasi Nilai Frekuensi Predominan

Formasi Aluvium di Kecamatan Bagelen merupakan endapan yang berasal dari rombakan batuan berumur tersier di Pegunungan Kulon Progo dan diangkut oleh Sungai Bogowonto yang berada di bagian barat lokasi penelitian. Formasi ini terdiri atas material endapan, kerakal, pasir lanau, dan lempung di sepanjang sungai besar. Berdasarkan hasil mikrozonasi nilai frekuensi predominan yang ditunjukkan pada Gambar 17, dapat diketahui bahwa Formasi Aluvium memiliki nilai frekuensi predominan yang berkisar antara 2,57 Hz hingga 9,95 Hz dengan nilai terendah berada di titik penelitian S19 dan nilai tertinggi berada di titik penelitian S91. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 11, jenis tanah yang berada di Formasi

Aluvium adalah jenis I, II, dan III. Tanah jenis I merupakan batuan tersier yang terdiri dari batuan pasir berkerikil keras (*hard sandy gravel*). Tanah jenis I dimiliki titik penelitian S1 dan S91 dengan nilai frekuensi predominan 7,02 Hz dan 9,94 Hz. Tanah jenis II dan III merupakan batuan aluvial yang terdiri dari pasir berkerikil (*sandy gravel*), pasir berlempung keras (*sandy hard clay*), tanah liat, lempung (*loam*), dan adanya material yang belum diketahui (*buffformation*) pada tanah jenis III. Tanah jenis II dimiliki titik penelitian S37, S55, S73 dengan nilai frekuensi predominan 4,92 Hz, 5,25 Hz, dan 5,98 Hz, sedangkan tanah jenis III dimiliki titik penelitian S19 dengan nilai frekuensi predominan 2,57 Hz.

Formasi Kebobotak secara umum terdiri dari batu pasir, batu lempung, dan konglomerat dengan nilai frekuensi predominan yang berkisar antara 0,78 Hz hingga 13,96 Hz, dimana nilai terendah berada di titik penelitian S39 dan nilai tertinggi berada di titik penelitian S79. Titik penelitian pada formasi ini dominan merupakan tanah jenis I dan II dengan kisaran nilai frekuensi predominan 4,63 Hz hingga 13,96 Hz, kecuali pada titik penelitian S39 yang memiliki nilai frekuensi predominan 0,78 Hz dan merupakan tanah jenis IV. Tanah jenis I berada di kisaran nilai frekuensi predominan dari 7,35 Hz hingga 13,96 Hz. Tanah jenis II berada di nilai frekuensi predominan 4,64 Hz, 4,67 Hz dan 5,97 Hz. Titik penelitian S39 merupakan tanah jenis IV dengan nilai frekuensi predominan 0,78 Hz. Tanah jenis IV tersebut terbentuk dari tanah lembek seperti humus, lumpur, endapan lumpur, dan tanah lunak.

Formasi Andesit merupakan formasi yang tersusun atas breksi, tuf, dan aglomerat. Formasi ini berada di dataran tinggi Kecamatan Bagelen dan berada di

daerah gunung api purba, yaitu Gunung Ijo. Nilai frekuensi predominan pada formasi ini berkisar antara 5,14 Hz hingga 17,44 Hz dengan nilai terendah berada di titik penelitian S43 dan nilai tertinggi berada di titik penelitian S23. Formasi Dasit merupakan terobosan dari Formasi Andesit yang lebih tua serta diduga lapisan tanahnya telah mengalami pelapukan sehingga lapisan sedimen menjadi lebih tebal dibandingkan Formasi Andesit. Nilai frekuensi predominan pada formasi ini berkisar antara 4,34 Hz hingga 11,48 Hz dengan nilai terendah berada di titik penelitian S5 dan nilai tertinggi berada di titik penelitian S3. Oleh karena itu, kondisi tanah di kedua formasi tersebut didominasi tanah jenis I atau didominasi oleh batuan keras (*hard sandy gravel*).

Berdasarkan mikrozonasi nilai frekuensi predominan pada Gambar 17 tersebut, dapat diketahui bahwa titik longsor di Kecamatan Bagelen berada di dekat titik pengukuran S27, S34, S43, S45, S57, S75, S77 dan S97 dengan nilai frekuensi predominan yang berkisar antara 4 Hz hingga 8 Hz. Titik-titik tersebut merupakan tanah jenis I dan II yang berada di Formasi Kebobotak dan Andesit. Oleh karena itu, berdasarkan mikrozonasi nilai frekuensi predominan, titik-titik longsor berada di daerah yang memiliki frekuensi sedang hingga tinggi.

B. Faktor Amplifikasi

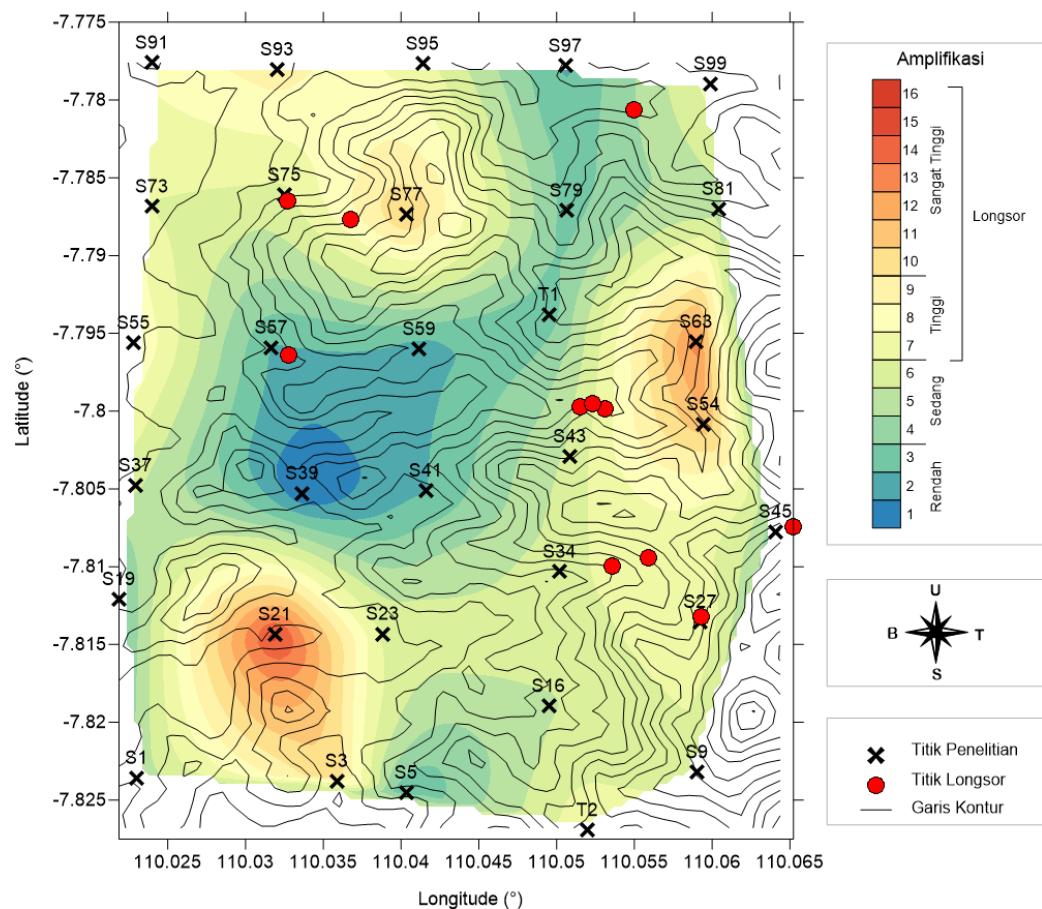
Amplifikasi merupakan besarnya penguatan gelombang saat melalui medium tertentu. Amplifikasi terjadi ketika frekuensi gelombang seismik yang terjebak di suatu lapisan sedimen memiliki nilai yang sama dengan frekuensi

predominan di daerah tersebut sehingga terjadi resonansi gelombang. Pada frekuensi resonansi, gelombang seismik dari *bedrock* akan diperbesar beberapa kali sehingga amplitudo gelombang seismik di lapisan sedimen akan semakin besar.

Amplifikasi gelombang seismik dicirikan oleh adanya batuan sedimen yang berada di atas *bedrock* dengan kerapatan yang berbeda. Dengan kata lain, gelombang seismik akan mengalami perbesaran amplitudo jika merambat pada medium yang lebih lunak dibandingkan medium awal yang dilaluinya. Daerah yang permukaannya tersusun atas sedimen lunak (gambut, pasir, pasir lanauan) dengan dasar yang keras memiliki nilai faktor amplifikasi yang tinggi. Karena pada kondisi geologi tersebut, kontras impedansinya (perbedaan antara lapisan sedimen dan dasar) besar. Semakin besar perbandingan kontras impedansi kedua lapisan tersebut maka nilai faktor amplifikasinya juga semakin tinggi. Faktor amplifikasi bisa bertambah jika batuan telah mengalami deformasi (pelapukan, pelipatan, dan pesesaran) yang mengubah sifat batuan. Pada batuan yang sama, faktor amplifikasi dapat bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi pada pelapukan tubuh batuan tersebut.

Nilai faktor amplifikasi di Kecamatan Bagelen berkisar antara 1,02 - 15,50 dengan nilai terendah berada di titik penelitian S39 dan nilai tertinggi berada di titik penelitian S21. Persebaran nilai tersebut ditunjukkan pada Tabel 12. Nilai faktor amplifikasi rendah berkisar antara 1,02 hingga 2,97 yang tersebar di Formasi Dasit dan Kebobutak. Nilai faktor amplifikasi sedang berkisar antara 3,39 hingga 5,88 yang tersebar di semua formasi geologi. Nilai faktor amplifikasi tinggi berkisar antara 6,20 hingga 8,26 yang tersebar di Formasi Aluvium, Kebobutak, dan

Andesit, sedangkan nilai faktor amplifikasi sangat tinggi berkisar antara 9,22 hingga 15,50 yang tersebar di semua formasi geologi. Hal ini menunjukkan bahwa pada formasi geologi yang sama, wilayah satu dengan yang lain dapat memiliki kondisi geologi yang berbeda akibat proses deformasi yang menyebabkan karakteristik geologi di suatu wilayah menjadi berubah. Oleh karena itu, nilai faktor amplifikasi pada formasi yang sama dapat bervariasi dari rendah hingga sangat tinggi.



Gambar 18. Mikrozonasi Nilai Faktor Amplifikasi

Tabel 12. Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi

Klasifikasi	Nilai Faktor Amplifikasi	Titik Penelitian	Formasi
Rendah	1,02 – 2,97	S39, S41, S57, S59, S97	Kebobutak
		S5	Dasit
Sedang	3,39 – 5,88	S1, S19	Aluvium
		S79	Kebobutak
		S45, S81, T1	Andesit
		S16	Dasit
Tinggi	6,20 – 8,26	S37, S73, S91	Aluvium
		S75, S95	Kebobutak
		S9, S23, S27, S34, S43, S99, T2	Andesit
Sangat Tinggi	9,22 – 15,50	S55	Aluvium
		S21, S77, S93	Kebobutak
		S54, S63	Andesit
		S3	Dasit

Pelapukan merupakan proses pemecahan massa batuan menjadi bagian-bagian yang lebih kecil oleh faktor cuaca, zat kimia dan atau makhluk hidup sehingga densitas batuan tersebut menjadi berkurang. Pada wilayah perbukitan dengan kemiringan lereng dari landai hingga sangat curam seperti wilayah penelitian, batuan akan sangat mudah terkikis dan melapuk karena langsung bersentuhan dengan cuaca di sekitar batuan tersebut. Oleh karena itu, gelombang dapat mengalami amplifikasi lebih besar karena melalui medium yang jauh lebih lunak dibandingkan medium awal yang dilaluinya. Berdasarkan persebaran nilai faktor amplifikasi yang ditunjukkan pada Gambar 18, dapat diketahui bahwa nilai faktor amplifikasi tinggi dominan berada di wilayah yang memiliki kemiringan lereng curam dibandingkan yang berada di kemiringan lereng landai. Nilai faktor amplifikasi tinggi tersebut berkorelasi dengan kejadian longsor yang ada di

Kecamatan Bagelen, kecuali yang berada di sekitar titik penelitian S21. Meskipun tidak menunjukkan korelasi terhadap kejadian tanah longsor, faktor amplifikasi yang tinggi pada titik penelitian tersebut dapat menunjukkan gelombang seperti gempa bumi dapat mengalami perbesaran yang tinggi di wilayah tersebut.

C. Ketebalan Lapisan Sedimen

Lapisan sedimen merupakan lapisan yang dihasilkan dari proses pelapukan dan pengendapan. Material pada lapisan tersebut mudah mengalami deformasi atau perpindahan massa, sehingga ketika bobot material tersebut bertambah akibat terserapnya air hingga lapisan kedap air (*bedrock*), maka akan menimbulkan gerakan material secara massal atau tanah longsor.

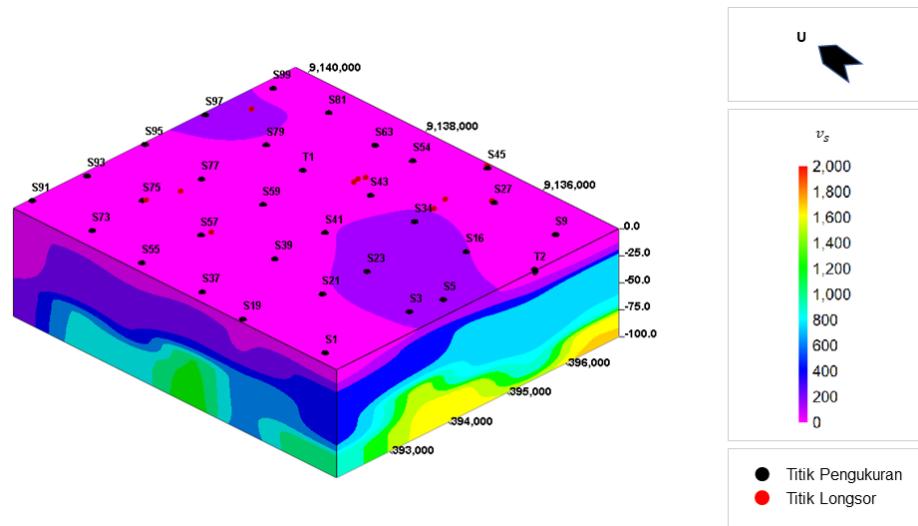
Melalui metode mikrotremor, strukur lapisan seperti sedimen dan *bedrock* suatu wilayah dapat ditentukan dari nilai kecepatan gelombang geser (v_s). Struktur lapisan di Kecamatan Bagelen diketahui dari pengolahan inversi kurva H/V dengan metode *ellipticity curve*. Berdasarkan pengolahan tersebut akan diperoleh *ground profiles* yang menampilkan nilai kecepatan gelombang geser (v_s) setiap lapisan beserta nilai kedalaman hingga 100 m, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 10 dan selengkapnya di Lampiran 3. Nilai v_s dan kedalaman tersebut kemudian dimodelkan secara 3D dengan *software Rockworks 15*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 19.

Berdasarkan hasil pemodelan pada Gambar 19 serta mengacu pada kategorisasi Badan Standarisasi Nasional yang ditunjukkan pada Tabel 6, dapat

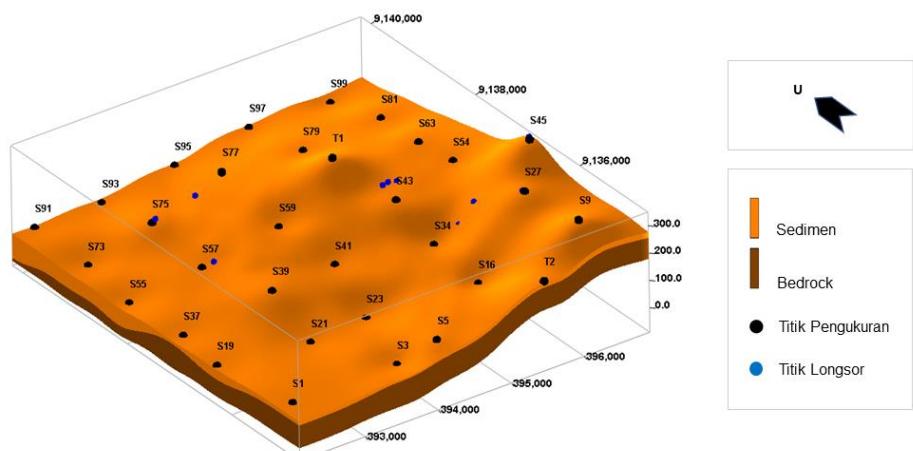
diketahui bahwa lapisan paling atas daerah penelitian didominasi spektrum warna ungu muda dengan nilai v_s antara 47,11 – 174,93 m/s. Lapisan ini diketahui sebagai tanah lunak yang terdiri atas tanah humus, pasir dan kerikil. Lapisan kedua ditunjukkan oleh spektrum warna ungu tua dengan nilai v_s antara 176,19 – 301,66 m/s. Lapisan ini diketahui sebagai tanah sedang yang terdiri atas lempung, tuf, dan tuf-lapili. Lapisan ketiga ditunjukkan oleh spektrum warna biru tua dengan nilai v_s antara 357,42 – 690,52 m/s. Lapisan ini diketahui sebagai tanah keras seperti batuan pasir dan batuan lempung. Lapisan keempat ditunjukkan oleh spektrum warna biru muda dan hijau dengan nilai v_s antara 760,82 – 1454,72 m/s. Lapisan ini diketahui sebagai batuan breksi dan aglomerat. Lapisan paling bawah ditunjukkan oleh spektrum warna hijau muda hingga merah dengan nilai v_s antara 1535,7 – 3215,25 m/s. Lapisan ini diketahui sebagai batuan keras andesit dan dasit.

Berdasarkan kategorisasi nilai v_s oleh Badan Standarisasi Nasional serta pemaparan di atas, dapat diketahui bahwa lapisan sedimen berkorelasi dengan jenis tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras atau padat yang berada pada interval nilai kecepatan gelombang geser kurang dari 750 m/s, sehingga lapisan sedimen pada Gambar 19 ditunjukkan oleh spektrum warna ungu muda hingga biru tua dengan nilai kecepatan gelombang geser antara 47,11 m/s hingga 690,52 m/s. Ketebalan lapisan sedimen dapat ditunjukkan dengan pemodelan stratigrafi serta disesuaikan dengan topografi wilayah penelitian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 20. Berdasarkan pemodelan tersebut dapat diketahui bahwa nilai ketebalan sedimen terendah bernilai 2,98 m yang berada di titik penelitian S3 dan lapisan sedimen

paling tebal bernilai maksimal di kedalaman 100 m yang berada di titik penelitian S39.



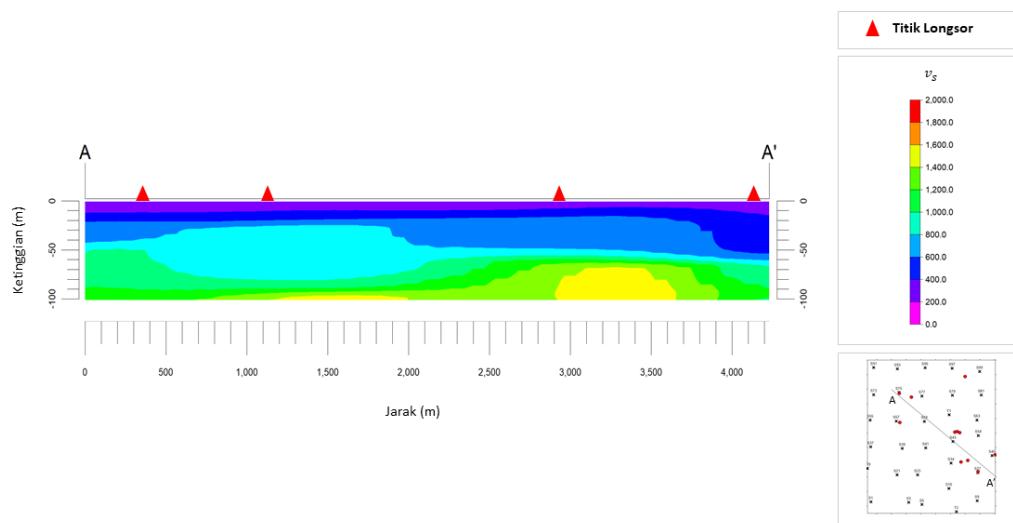
Gambar 19. Pemodelan 3D Nilai Kecepatan Gelombang Geser (v_s)



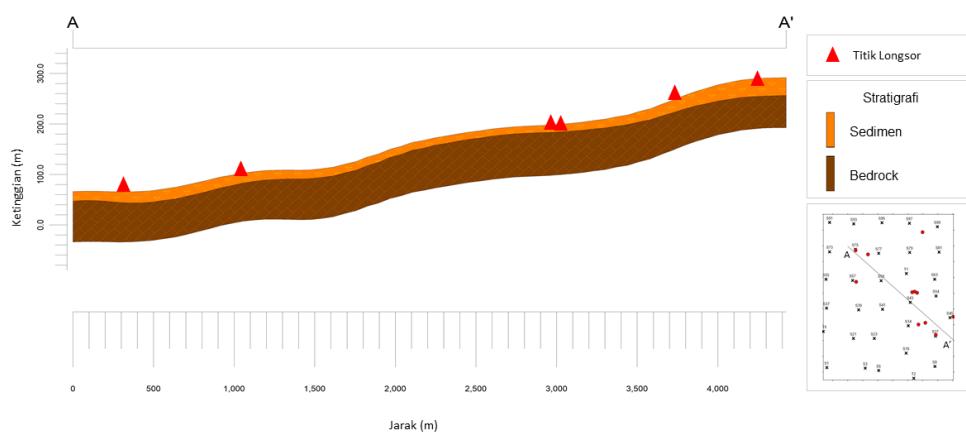
Gambar 20. Pemodelan 3D Lapisan Sedimen dan Lapisan *Bedrock*

Ketebalan lapisan sedimen lokasi longsor di Kecamatan Bagelen dapat diidentifikasi melalui penyayatan pemodelan pada Gambar 19-20 terhadap titik-titik lokasi longsor. Hasil dari proses sayatan ini ditunjukkan pada Gambar 21-22. Lapisan sedimen di titik-titik lokasi longsor ditunjukkan oleh spektrum warna ungu

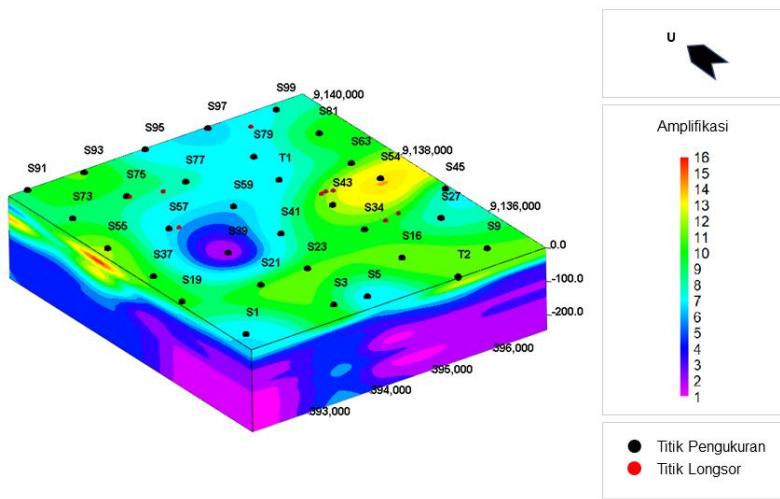
muda hingga biru tua. Spektrum warna ungu muda diketahui sebagai tanah, pasir dan kerikil dengan nilai v_s kurang dari 175 m/s. Spektrum warna ungu tua diketahui sebagai lempung, tuf, dan tuf lapilli dengan nilai v_s antara 175 m/s hingga 350 m/s. Spektrum warna biru tua diketahui sebagai batuan pasir dan batuan lempung dengan nilai v_s antara 350 m/s hingga 750 m/s, sedangkan nilai ketebalan lapisan sedimen titik-titik longsor dapat diketahui dari hasil sayatan yang ditunjukkan pada Gambar 22. Titik longsor di Kecamatan Bagelen berada di daerah yang memiliki ketebalan sedimen sekitar 20 m hingga 55 m.



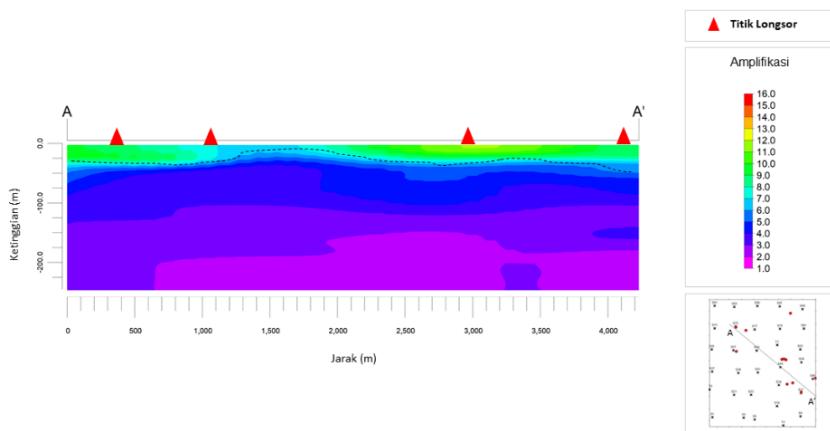
Gambar 21. *Cross-section Model 3D Nilai Kecepatan Gelombang Geser*



Gambar 22. *Cross-section Model 3D Lapisan Sedimen dan Bedrock*



Gambar 23. Pemodelan 3D Nilai Faktor Amplifikasi terhadap Kedalaman

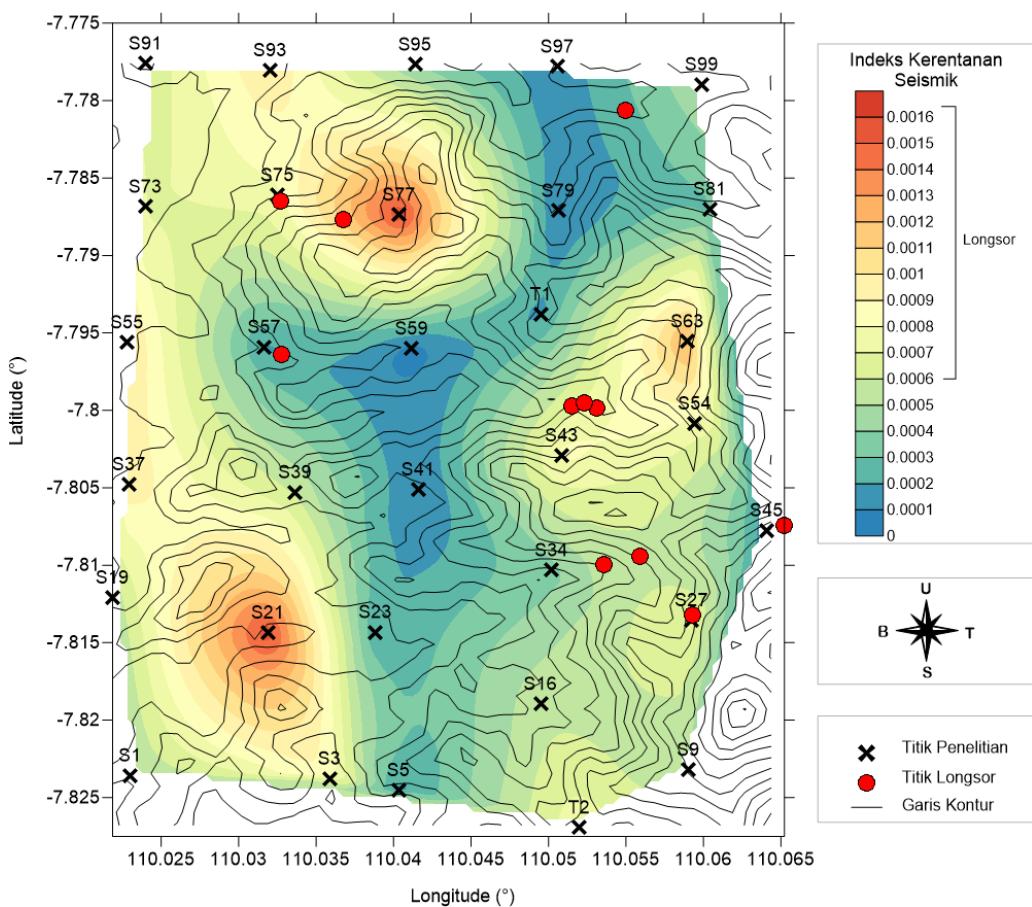


Gambar 24. *Cross-section Model 3D Nilai Faktor Amplifikasi*

Selain pemodelan stratigrafi, pemodelan lain yang diperlukan untuk mengidentifikasi daerah longsor adalah pemodelan yang dapat menunjukkan perbedaan karakteristik geologi antara lapisan sedimen dan lapisan *bedrock*, yaitu pemodelan faktor amplifikasi terhadap kedalaman yang ditunjukkan pada Gambar 23. Apabila pada Gambar 23 dilakukan penyayatan terhadap titik-titik longsor yang ada di Kecamatan Bagelen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 24, maka dapat diketahui bahwa titik-titik longsor berada pada lapisan permukaan yang bernilai amplifikasi tinggi atau ditunjukkan oleh spektrum warna hijau. Hal ini

menunjukkan adanya perbedaan karakteristik geologi yang signifikan antara lapisan sedimen dengan lapisan *bedrock*. Titik-titik longsor tersebut berada di lereng yang cukup curam, dimana aktivitas pelapukan di daerah yang curam akan lebih besar dibandingkan dengan di daerah yang lebih landai.

D. Indeks Kerentanan Seismik



Gambar 25. Mikrozonasi Nilai Indeks Kerentanan Seismik

Indeks kerentanan seismik (K_g) menyatakan kemampuan lapisan permukaan tanah menahan deformasi. Nilai indeks kerentanan seismik menunjukkan kestabilan struktur tanah, dimana semakin tinggi nilai indeks kerentanan seismik maka tingkat kestabilan struktur tanah semakin kecil. Nilai

indeks kerentanan seismik dipengaruhi oleh faktor amplifikasi (A), kecepatan gelombang pada batuan dasar (v_b) dan frekuensi predominan (f_0) seperti yang ditunjukkan pada persamaan 36.

Nilai indeks kerentanan seismik di Kecamatan Bagelen yang tinggi berbanding lurus dengan nilai faktor amplifikasi dan berbanding terbalik dengan nilai frekuensi predominan. Semakin tinggi nilai faktor amplifikasi atau semakin rendah nilai faktor frekuensi predominan, maka semakin tinggi nilai indeks kerentanan seismik, sedangkan tinggi atau rendah nilai kecepatan gelombang geser pada lapisan *bedrock* di wilayah penelitian tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai indeks kerentanan seismik.

Nilai indeks kerentanan seismik pada Kecamatan Bagelen berkisar antara $6,27 \times 10^{-5}$ s²/m hingga $1,59 \times 10^{-3}$ s²/m, dimana hasil mikrozonasi nilai tersebut ditunjukkan pada Gambar 25. Nilai indeks kerentanan seismik dibagi menjadi tiga zona, yaitu rendah, sedang dan tinggi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 12. Nilai indeks kerentanan seismik rendah bernilai antara $6,27 \times 10^{-5}$ s²/m hingga $4,95 \times 10^{-4}$ s²/m yang berada di sebagian Formasi Kebobutak dan sebagian Formasi Andesit. Formasi Kebobutak diketahui memiliki nilai frekuensi predominan tinggi dan nilai faktor amplifikasi rendah. Formasi Andesit memiliki nilai frekuensi predominan tinggi dan nilai faktor amplifikasi sedang. Hal ini menyebabkan nilai indeks kerentanan seismik di daerah tersebut menjadi rendah. Nilai indeks kerentanan seismik sedang bernilai antara $5,26 \times 10^{-4}$ s²/m hingga $9,76 \times 10^{-4}$ s²/m yang tersebar di sebagian dari semua formasi. Nilai frekuensi predominan tinggi dan nilai faktor amplifikasi tinggi atau nilai frekuensi

predominan rendah dan nilai faktor amplifikasi rendah menyebabkan nilai indeks kerentanan seismik yang sedang. Nilai indeks kerentanan seismik tinggi bernilai antara $1,00 \times 10^{-3}$ s²/m hingga $1,57 \times 10^{-3}$ s²/m yang berada di titik penelitian S55 pada Formasi Aluvium, titik penelitian S21, S77, dan S93 pada Formasi Kebobutak serta titik penelitian S63 pada Formasi Andesit. Titik penelitian tersebut memiliki nilai frekuensi predominan sedang dan faktor amplifikasi sangat tinggi. Hal ini menyebabkan nilai indeks kerentanan seismik di daerah tersebut menjadi tinggi.

Tabel 12. Klasifikasi Nilai Indeks Kerentanan Seismik

Klasifikasi	Nilai K_g (s ² /m)	Titik Penelitian	Formasi
Rendah	$6,27 \times 10^{-5}$ hingga $4,95 \times 10^{-4}$	S1	Aluvium
		S41, S57, S59, S79, S95, S97	Kebobutak
		S9, S23, S34, S45, S81, S99, T1	Andesit
		S5	Dasit
Sedang	$5,26 \times 10^{-4}$ hingga $9,76 \times 10^{-4}$	S19, S37, S73, S91	Aluvium
		S39, S75	Kebobutak
		S27, S43, S54, T2	Andesit
		S3, S16	Dasit
Tinggi	$1,00 \times 10^{-3}$ hingga $1,57 \times 10^{-3}$	S55	Aluvium
		S21, S77, S93	Kebobutak
		S63	Andesit

Gelombang seismik merupakan gelombang mekanik yang memerlukan medium untuk merambat. Energi dari gelombang seismik mengalami penyerapan oleh medium yang dilaluinya. Ketika menjalar dalam medium keras yang memiliki susunan material yang sangat rapat, gelombang seismik relatif mudah merambat. Hal ini diketahui dari kecepatan gelombang seismik yang menjalar lebih cepat pada medium keras. Ketika menjalar dalam medium lunak yang memiliki susunan material kurang rapat dan bersifat plastis, gelombang seismik tidak mudah

merambat. Hal ini diketahui dari kecepatan gelombang seismik yang melambat pada medium lunak, sehingga energi gelombang yang dimiliki diubah untuk menimbulkan amplitudo yang lebih besar pada medium lunak, dimana perbesaran amplitudo tersebut dinyatakan oleh faktor amplifikasi antara dua medium.

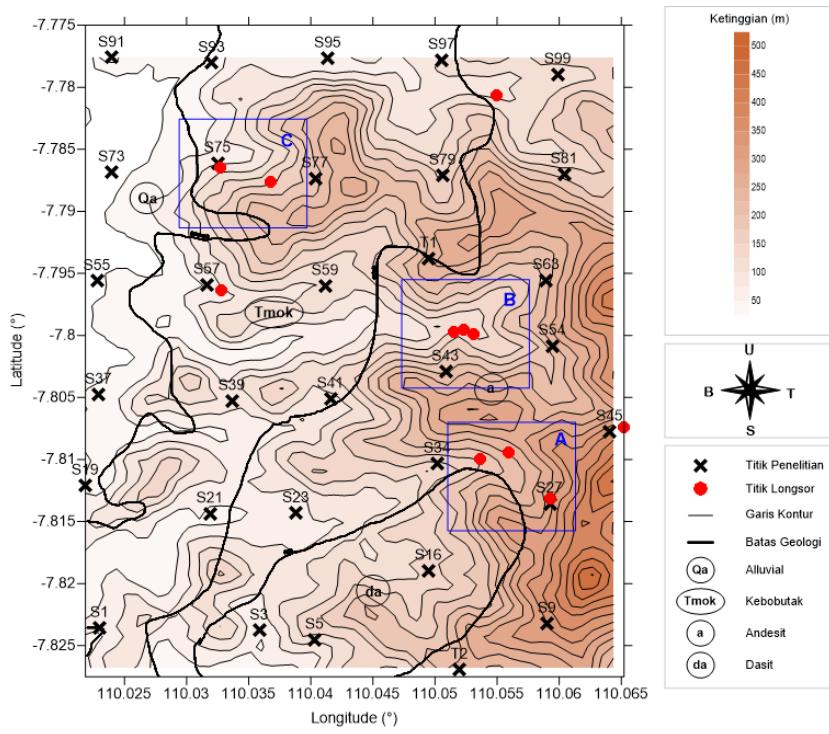
Faktor amplifikasi menunjukkan adanya perbedaan kerapatan antara lapisan sedimen dengan lapisan *bedrock*, sehingga ketika gelombang seismik menjalar dari medium yang keras ke medium yang jauh lebih lunak akan mengakibatkan amplitudo di medium lunak semakin besar. Amplitudo yang semakin besar tersebut mengakibatkan suatu daerah memiliki potensi guncangan atau bahaya yang tinggi, dengan kata lain kerentanan seismiknya juga tinggi. Hal ini ditunjukkan oleh nilai indeks kerentanan seismik yang tinggi di titik penelitian S21 pada Formasi Kebobutak, bahwa gelombang yang menjalar akan mengalami amplifikasi yang besar sehingga titik penelitian tersebut beresiko mengalami guncangan yang kuat saat terjadi gempa bumi.

Nilai indeks kerentanan seismik sedang hingga tinggi di sekitar titik penelitian S77 pada Formasi Kebobutak dan di sekitar titik penelitian S63 pada Formasi Andesit menunjukkan korelasi terhadap adanya kejadian tanah longsor. Daerah tersebut merupakan daerah yang berupa dataran tinggi dan berlereng, terlihat dari garis kontur pada Gambar 25 yang rapat, dimana daerah tersebut didominasi material batuan keras, batuan pasir, lempung, dan andesit, namun daerah tersebut juga memiliki nilai faktor amplifikasi yang tinggi dikarenakan proses pelapukan yang terjadi lebih cepat di dataran tinggi sehingga nilai densitas pada lapisan permukaan (sedimen) semakin berkurang. Lapisan dengan densitas

rendah merupakan lapisan yang belum terkonsolidasi dengan baik, dimana air dapat meresap hingga ke dalam lapisan *bedrock*. Air yang meresap dapat menambah beban pada lereng dan membuat lapisan sedimen menjadi lebih mudah berpindah. Kemampuan tanah atau batuan pada lapisan sedimen untuk berpindah tersebut berkaitan dengan nilai regangan atau *shear strain* (γ). Berdasarkan persamaan (35), nilai regangan sebanding dengan nilai indeks kerentanan seismik, sehingga ketika nilai indeks kerentanan seismik tinggi maka nilai regangan juga tinggi. Nilai regangan yang tinggi menggambarkan kemampuan material lapisan tanah untuk bergeser juga tinggi.

E. Identifikasi Daerah Longsor Kecamatan Bagelen

Kecamatan Bagelen merupakan daerah yang sering mengalami kejadian tanah longsor. Kondisi geomorfologis daerah penelitian yang merupakan perbukitan dengan ketinggian dari 18 m hingga 346 m merupakan salah satu faktor pendukung seringnya terjadi longsor di daerah tersebut. Terdapat 11 titik longsor yang berada dalam daerah penelitian sepanjang bulan Mei 2017 hingga Februari 2018. Titik-titik longsor tersebut berada di Formasi Kebobutak dan Andesit, serta berada di daerah yang memiliki kemiringan curam seperti yang ditunjukkan pada Gambar 28.

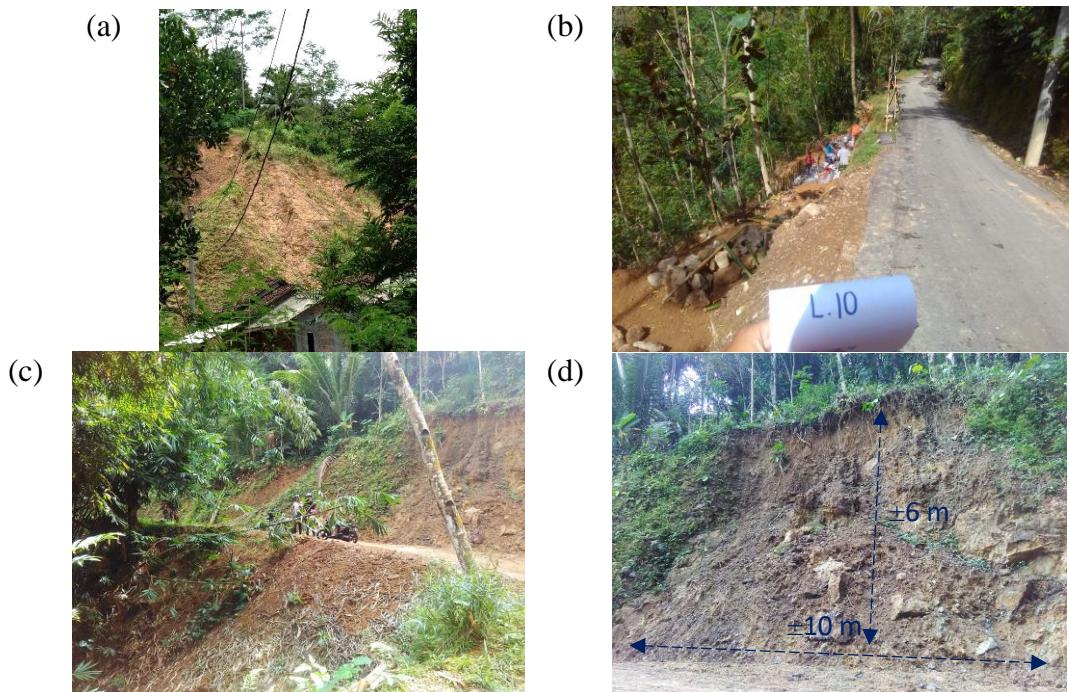


Gambar 26. Persebaran Titik Longsor di Kecamatan Bagelen

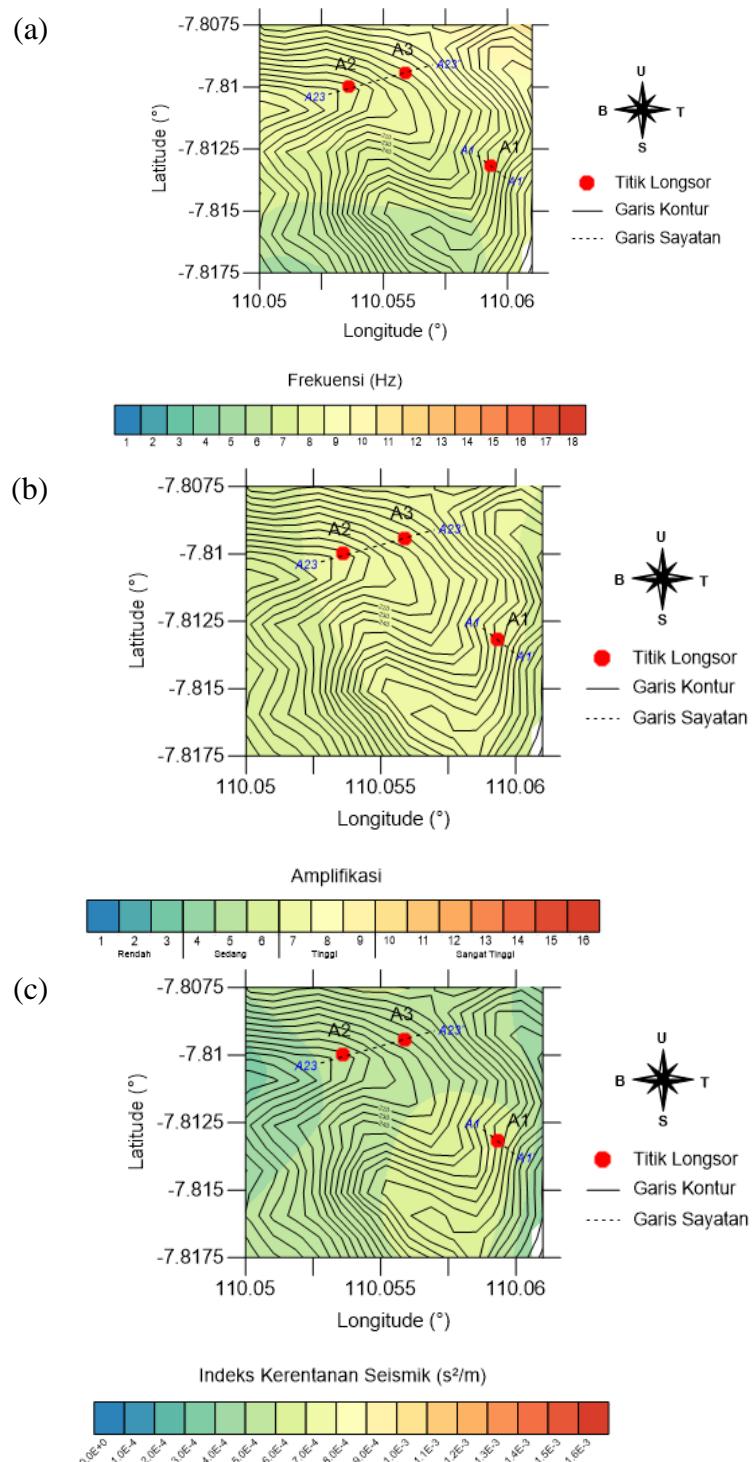
Identifikasi daerah longsor di Kecamatan Bagelen dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian A, bagian B, dan bagian C seperti yang ditunjukkan pada Gambar 26. Daerah-daerah yang diidentifikasi tersebut dipilih karena mengalami kejadian longsor lebih dari satu kali. Melalui hasil mikrozonasi frekuensi predominan, faktor amplifikasi dan indeks kerentanan seismik serta melalui hasil pemodelan kecepatan gelombang geser dan stratigrafi, karakteristik kejadian longsor di Kecamatan Bagelen dipaparkan sebagai berikut.

1. Daerah Longsor Bagian A

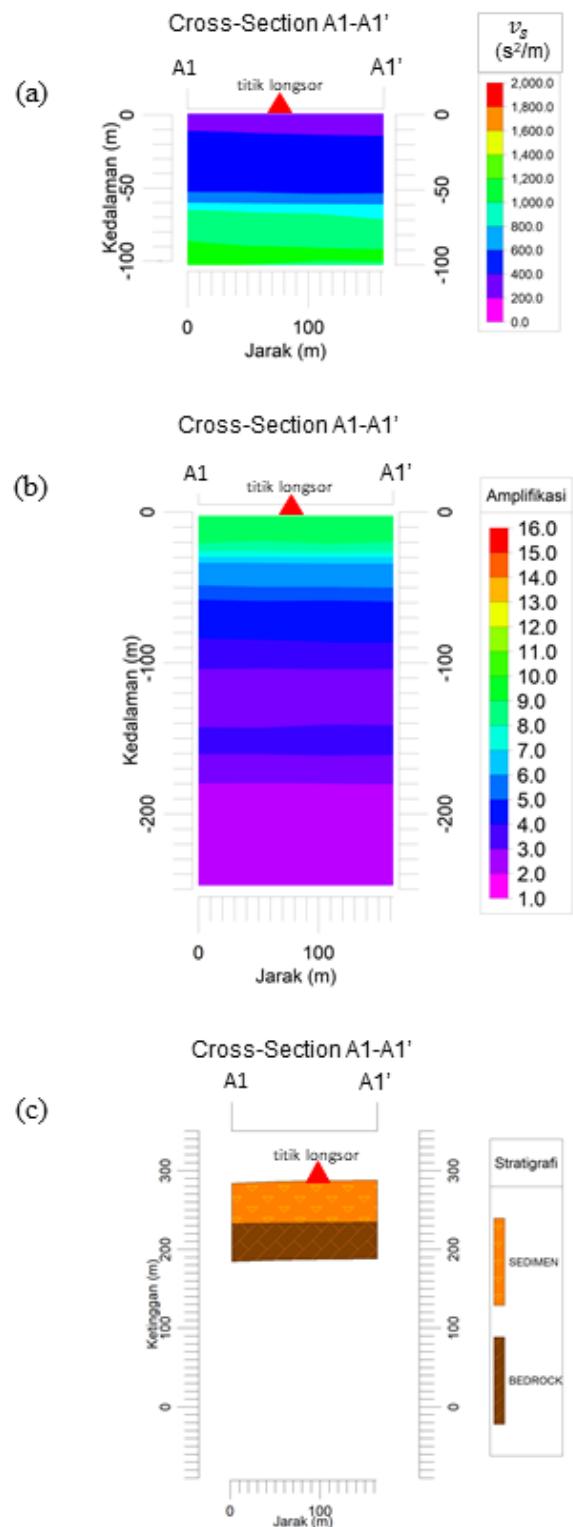
Daerah longsor bagian A memiliki tiga titik longsor yang berada di Desa Hargorojo, Kecamatan Bagelen. Ketiga titik longsor berada di dataran tinggi, dimana titik A1 berada di ketinggian 290 m serta titik A2 dan A3 berada di ketinggian 245 m. Tanah longsor yang terjadi pada daerah tersebut merupakan longsor jenis runtuhan (*falls*) material yang telah lapuk seperti batuan pasir dan batuan lempung. Longsor di titik A1 terjadi pada tebing setinggi ± 6 m dan lebar ± 10 m, titik A2 merupakan ambrolnya material pada jurang di tepi jalan, sedangkan titik A3 merupakan tebing lapuk setinggi lebih dari 10 m yang berada di belakang rumah warga. Kejadian longsor pada ketiga titik tersebut ditunjukkan pada Gambar 27.



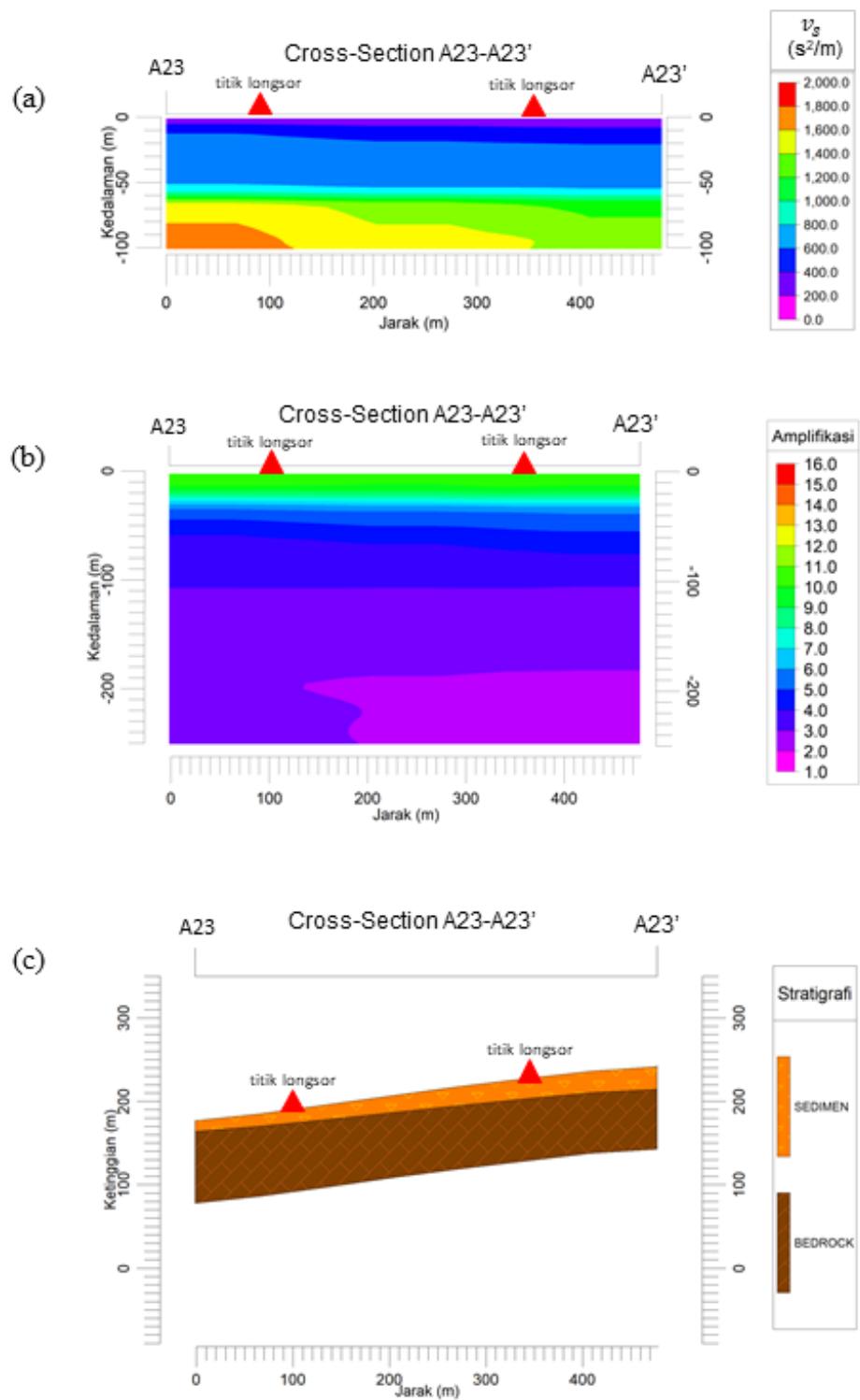
Gambar 27. Daerah Longsor Bagian A (a) Titik A3 (b) Titik A2 (c-d) Titik A1



Gambar 28. Mikrozonasi (a) Nilai Frekuensi Predominan (b) Nilai Faktor Amplifikasi dan (c) Nilai Indeks Kerentanan Seismik di Daerah Longsor Bagian A



Gambar 29. *Cross-section* Pemodelan (a) Nilai Kecepatan Gelombang Geser (v_s)
 (b) Nilai Faktor Amplifikasi (c) Stratigrafi Lapisan Sedimen-Bedrock
 di Daerah Longsor Bagian A1



Gambar 30. *Cross-section* Pemodelan (a) Nilai Kecepatan Gelombang Geser (v_g)
(b) Nilai Faktor Amplifikasi (c) Stratigrafi Lapisan Sedimen-Bedrock
di Daerah Longsor Bagian A2 dan A3

Berdasarkan hasil mikrozonasi yang ditunjukkan pada Gambar 28(a), dapat diketahui bahwa titik A1 dan A2 berada pada daerah yang memiliki nilai frekuensi predominan 7 Hz, sedangkan pada titik A3 adalah 8 Hz. Nilai tersebut diketahui sebagai tanah jenis I yang didominasi oleh batuan keras (*hard sandy gravel*) sesuai dengan kondisi geologi daerah longsor bagian A yang berada pada Formasi Andesit. Sayatan pemodelan *ground profile* pada Gambar 29(a) menunjukkan bahwa ketebalan lapisan sedimen di titik A1 adalah 50 m, sedangkan Gambar 30(a) menunjukkan ketebalan sedimen di titik A2 adalah 15 m dan titik A3 adalah 25 m. Lapisan ini ditunjukkan oleh spektrum warna ungu tua dan biru tua. Pada titik A1, lapisan sedimen cenderung didominasi oleh spektrum warna ungu tua yang diketahui sebagai tanah keras. Sedangkan pada titik A2 dan A3, lapisan sedimen juga didominasi oleh spektrum warna biru tua namun tidak setebal pada titik A1. Hal ini menunjukkan bahwa batuan yang berusia tersier (tua) telah mengalami perubahan kondisi geologi menjadi tanah keras. Sesuai dengan kejadian longsor titik A1 pada sebuah tebing yang ditunjukkan pada Gambar 27, batuan keras breksi-andesit telah mengalami pelapukan yang berubah menjadi batuan pasir dan batuan lempung serta menyebabkan pengikisan pada bagian permukaan tebing.

Daerah longsor bagian A berada pada dataran tinggi Kecamatan Bagelen dimana dataran tinggi memiliki suhu udara lebih rendah dibandingkan yang berada di dataran rendah, dan dengan tumbuhnya banyak vegetasi di sekitar tebing akan menyebabkan daerah tersebut lebih cepat mengalami pelapukan. Sehingga daerah yang seharusnya didominasi batuan keras dengan ketebalan sedimen tipis seperti daerah longsor bagian A berubah menjadi daerah dengan ketebalan sedimen yang

lebih tebal. Pelapukan ini dapat menyebabkan karakteristik geologi tanah berubah menjadi lebih halus atau kerapatan tanah menjadi berkurang sehingga nilai faktor amplifikasinya membesar. Kondisi ini dapat diketahui berdasarkan faktor amplifikasi pada daerah tersebut yang bernilai 7 atau berada dalam kategori tinggi.

Berdasarkan gambar sayatan stratigrafi titik longsor A1 yang ditunjukkan pada Gambar 29(c), dapat diketahui bahwa daerah di sekitar titik tersebut merupakan daerah yang cukup landai dengan lapisan sedimen yang tebal. Longsor pada titik A1 merupakan longsor yang terjadi akibat pengikisan sebuah tebing di tepi jalan sehingga menjadi sangat curam. Pengikisan tersebut mengakibatkan ketidakstabilan pada tebing sehingga terjadi longsor dalam bentuk runtuhan. Ketidakstabilan tersebut ditunjukkan dengan indeks kerentanan seismik pada titik A1 yang bernilai $6 \times 10^{-4} \text{ s}^2/\text{m}$ menurut Gambar 28(c). Kondisi lereng pada lokasi longsor tersusun atas material lunak (pasir, lempung, batuan pasir, tuff dan batuan lempung) dengan potensi meregang dan bergeser yang tinggi. Karakter material lunak pada musim penghujan adalah memiliki kemampuan menyerap air dan berpotensi mengalami gerakan di atas bidang gelincir. Air yang terserap tersebut mendorong material yang berada di lereng untuk bergerak turun karena massa material bertambah. Ketika tebing yang dikikis semakin curam, maka kemampuan tebing tersebut untuk menahan material yang runtuh semakin berkurang sehingga material berat tersebut semakin mudah untuk turun atau mengalami longsor.

Pada gambar sayatan untuk titik longsor A2 dan A3 yang ditunjukkan oleh Gambar 30(c), dapat diketahui bahwa lokasi longsor berada di daerah yang memiliki kemiringan lereng curam. Lokasi longsor pada titik A2 berada di jurang

pada tepi jalan. Lokasi longsor pada titik A3 berada di tebing belakang rumah warga dengan ketinggian lebih dari 10 m dengan kemiringan lereng yang curam. Kedua titik lokasi longsor tersebut berada pada daerah yang memiliki nilai indeks kerentanan seismik 5×10^{-4} s²/m berdasarkan Gambar 28(c).

Berdasarkan identifikasi yang telah dipaparkan di atas, dapat disimpulkan bahwa daerah longsor bagian A berada pada Formasi Andesit dan memiliki nilai frekuensi predominan 7-8 Hz dan didominasi batuan keras breksi-andesit, sedangkan ketebalan lapisan sedimen di daerah tersebut berkisar antara 15 m hingga 50 m. Faktor amplifikasi di daerah tersebut bernilai 7 atau berada dalam kategori tinggi dan nilai indeks kerentanan seismik bernilai 5×10^{-4} - 6×10^{-4} s²/m atau berada dalam kategori sedang. Kondisi daerah yang berada di dataran tinggi dengan kemiringan curam menyebabkan proses pelapukan terjadi lebih cepat sehingga lapisan permukaan tersusun atas material lunak yang mudah untuk menyerap air dan mengalami pergeseran sehingga berakibat terjadi tanah longsor.

2. Daerah Longsor Bagian B

Daerah longsor bagian B memiliki tiga titik longsor yang berdekatan di Desa Sokoagung, Kecamatan Bagelen. Ketiga titik longsor berada di ketinggian 130 m. Tanah longsor yang terjadi di daerah B berupa runtuhan (*falls*) material seperti lempung dan batuan lempung. Titik B1 menunjukkan longsor yang terjadi pada sebuah tebing setinggi ±5 m yang terletak di tepi jalan, sedangkan titik B2 menunjukkan longsor yang terjadi pada tepian sebuah jurang yang membuat hampir

separuh badan jalan sepanjang ± 3 m menjadi ambrol. Kejadian longsor tersebut ditunjukkan pada Gambar 31.



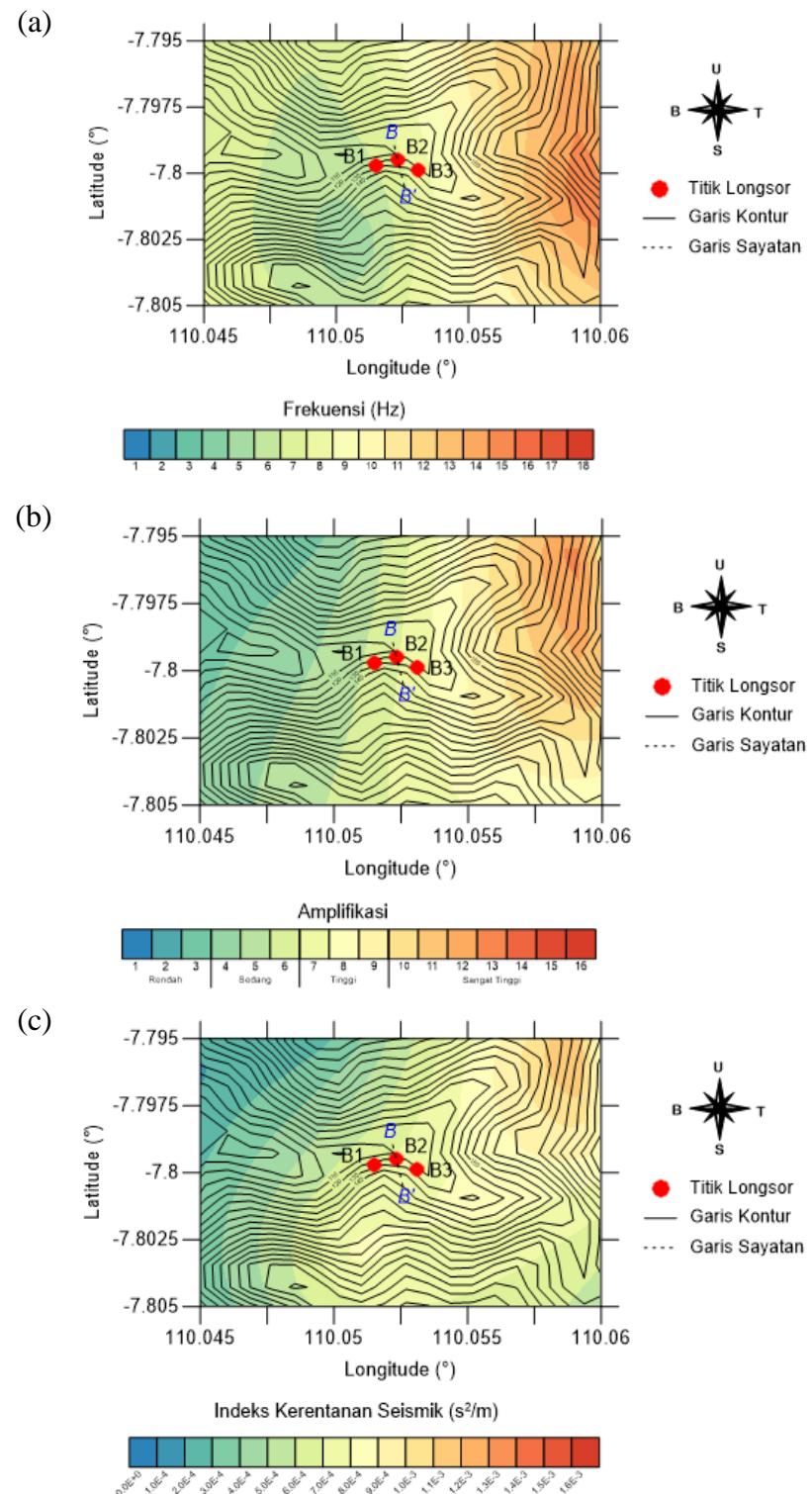
Gambar 31. Daerah Longsor Bagian B (a) Titik B1 (b) Titik B2

Berdasarkan Gambar 32(a), frekuensi predominan pada titik longsor B1 dan B2 adalah 7 Hz, sedangkan pada titik longsor B3 adalah 8 Hz. Kedua nilai tersebut diketahui sebagai tanah jenis I yang didominasi oleh batuan keras (*hard sandy gravel*) sesuai dengan kondisi geologi daerah longsor yang berada pada Formasi Andesit. Sayatan pemodelan *ground profile* pada Gambar 33(a) menunjukkan bahwa ketebalan lapisan sedimen di tiga titik longsor bagian B adalah ± 20 m. Lapisan ini ditunjukkan oleh spektrum warna ungu tua dan biru tua. Spektrum warna ungu tua menunjukkan tanah sedang berupa lempung dan tuf, sedangkan spektrum warna biru tua menunjukkan tanah keras berupa batuan pasir dan batuan lempung. Hal ini menunjukkan bahwa tanah jenis I yang mendominasi Formasi Andesit mengalami perubahan geologi pada lapisan permukaan sehingga menyebabkan ketebalan lapisan sedimen bertambah. Sesuai dengan kejadian longsor di daerah bagian B, batuan keras breksi-andesit terlihat mengalami

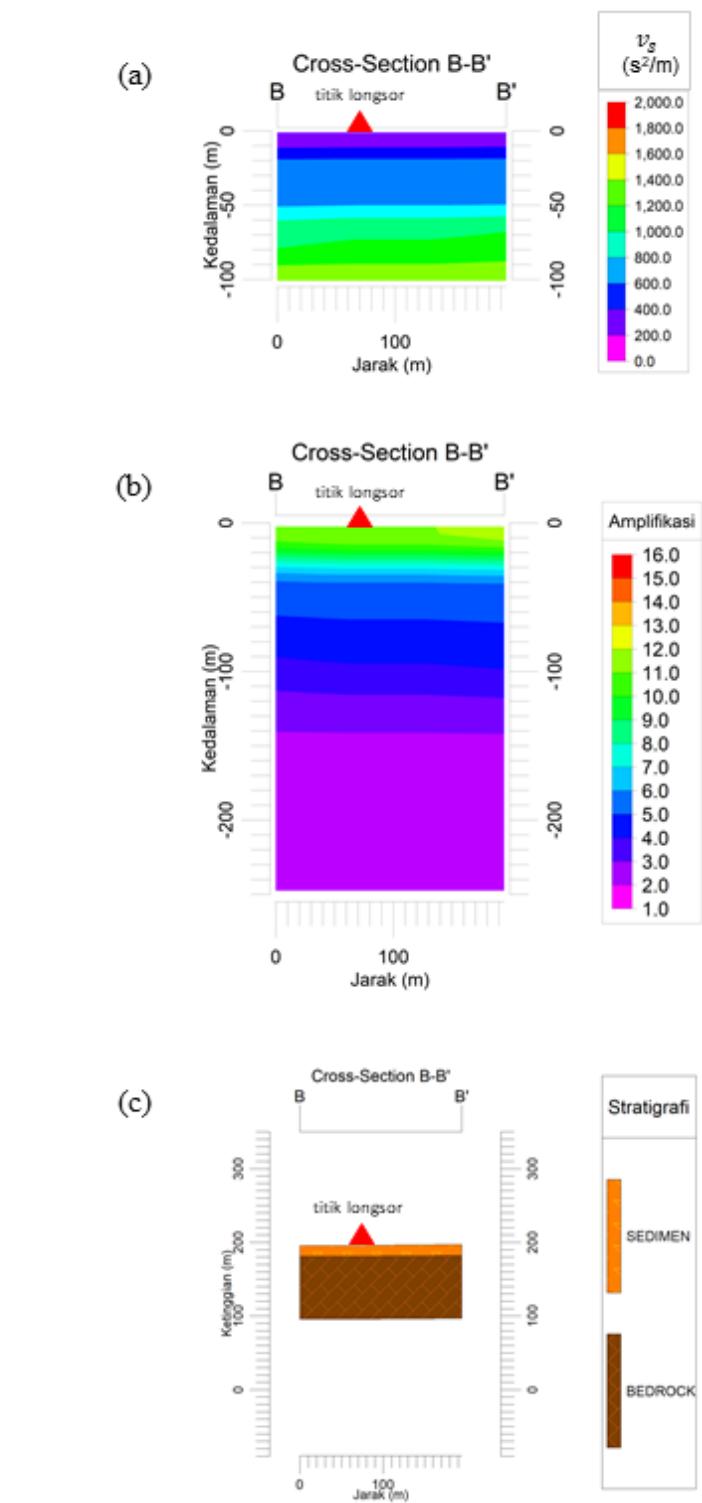
pengikisan dan berubah menjadi struktur yang tidak lagi *solid* yaitu batuan pasir dan batuan lempung.

Daerah longsor bagian B berada di dataran tinggi Kecamatan Bagelen dimana daerah tersebut banyak ditumbuhi vegetasi di sekitar tebing yang menyebabkan daerah tersebut mudah mengalami pelapukan. Pelapukan ini menyebabkan karakteristik geologi tanah berubah menjadi lebih halus atau densitasnya menjadi berkurang sehingga faktor amplifikasi membesar. Kondisi ini dapat diketahui berdasarkan faktor amplifikasi pada daerah tersebut yang bernilai 6 dan 7 atau berada dalam kategori tinggi serta berdasarkan sayatan pemodelan amplifikasi yang ditunjukkan Gambar 33(b), dimana faktor amplifikasi yang tinggi tersebut berada di lapisan permukaan. Nilai indeks kerentanan seismik berada dalam kategori sedang, dengan nilai 6×10^{-4} s²/m di titik B1, serta 7×10^{-4} s²/m di titik B2 dan B3.

Berdasarkan identifikasi yang telah dipaparkan di atas, dapat disimpulkan bahwa daerah longsor bagian B berada pada Formasi Andesit dan memiliki nilai frekuensi predominan 7-8 Hz yang didominasi batuan pasir dan batuan lempung dengan ketebalan lapisan sedimen ±20 m. Faktor amplifikasi di daerah tersebut bernilai 6-7 atau berada dalam kategori tinggi dan nilai indeks kerentanan seismik bernilai 6×10^{-4} - 7×10^{-4} s²/m atau berada dalam kategori sedang. Kondisi tebing dengan banyak vegetasi yang tumbuh di sekitarnya menyebabkan daerah tersebut mengalami pelapukan sehingga densitas di lapisan permukaan menjadi berkurang dan mudah mengalami pergeseran.



Gambar 32. Mikrozonasi (a) Nilai Frekuensi Predominan (b) Nilai Faktor Amplifikasi dan (c) Nilai Indeks Kerentanan Seismik di Daerah Longsor Bagian B



Gambar 33. *Cross-section* Pemodelan (a) Nilai Kecepatan Gelombang Geser (v_s)
 (b) Nilai Faktor Amplifikasi (c) Stratigrafi Lapisan Sedimen-Bedrock
 di Daerah Longsor Bagian B

3. Daerah Longsor Bagian C

Daerah longsor bagian C memiliki dua titik longsor yang berada di Desa Soko, Kecamatan Bagelen, dimana titik C1 berada di ketinggian 90 m dan titik C2 berada di ketinggian 150 m. Longsor di titik C1 merupakan longsor translasi, dimana massa tanah ambles pada bidang gelincir sedangkan longsor pada titik C2 merupakan longsor runtuhan (*falls*) dimana material pada dinding jurang ambrol dan membuat badan jalan menjadi retak. Kejadian longsor pada kedua titik tersebut ditunjukkan pada Gambar 34.

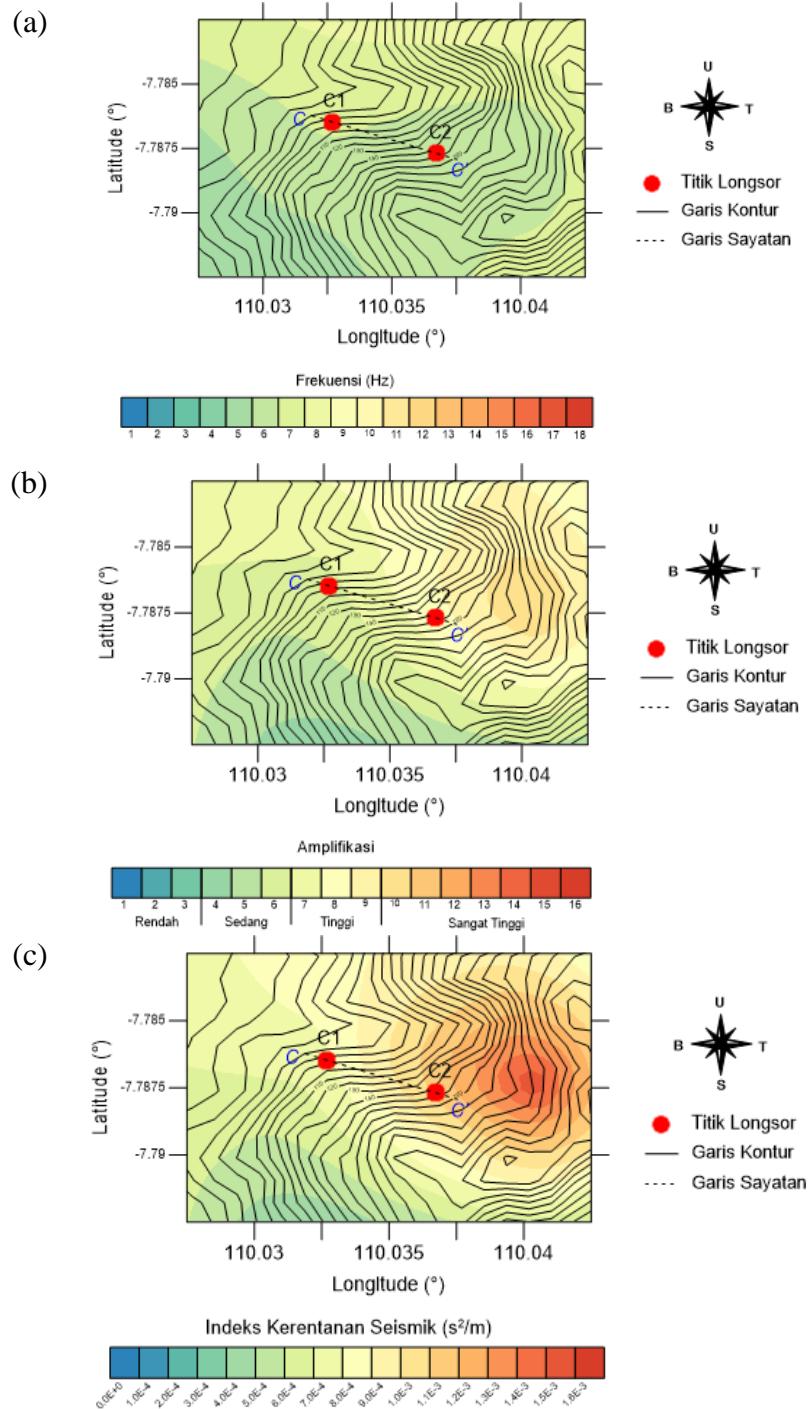


Gambar 34. Daerah Longsor Bagian C (a) Titik C1 (b) Titik C2

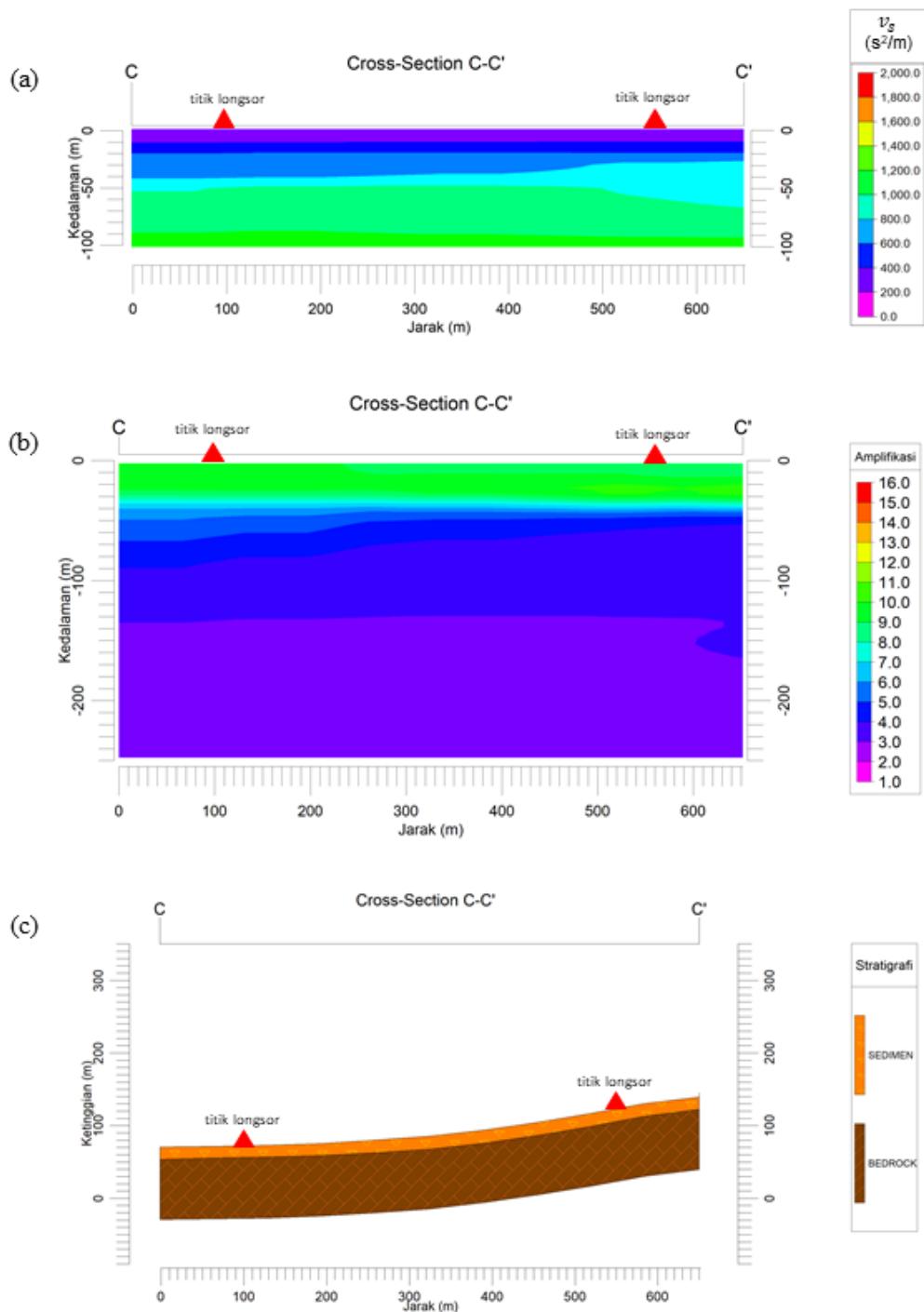
Berdasarkan identifikasi hasil mikrozonasi yang ditunjukkan pada Gambar 35(a), dapat diketahui bahwa titik C1 berada pada daerah yang memiliki nilai frekuensi predominan 7 Hz, sedangkan nilai pada titik C2 adalah 6 Hz. Nilai tersebut diketahui sebagai tanah jenis I dan II, yaitu kondisi tanah yang berupa batuan keras (*hard sandy gravel*), pasir kerikil (*sandy gravel*), lempung keras (*sandy hard clay*), dan tanah liat (*loam*). Kondisi tanah tersebut sesuai dengan kondisi geologi daerah longsor bagian C yang berada pada Formasi Kebobutak, yaitu tersusun atas batu pasir, batu lempung, aglomerat serta batuan sedimen-

vulkanik seperti breksi. Sayatan pemodelan *ground profile* pada Gambar 36(a) menunjukkan bahwa ketebalan lapisan sedimen di titik C1 dan C2 adalah ± 20 m. Lapisan ini ditunjukkan oleh spektrum warna ungu tua dan biru tua. Spektrum warna ungu tua menunjukkan tanah sedang berupa lempung dan tuf sedangkan spektrum warna biru tua menunjukkan tanah keras berupa batuan pasir dan batuan lempung.

Daerah longsor bagian C merupakan daerah dengan kemiringan lereng yang cukup curam dan memiliki lapisan sedimen dengan ketebalan sedang. Lapisan sedimen berupa lempung, pasir, dan tuf yang merupakan material dengan densitas rendah dan belum terkonsolidasi dengan baik, dimana air dapat meresap hingga ke dalam lapisan *bedrock*. Air yang meresap dapat menambah beban pada lereng dan membuat lapisan sedimen menjadi lebih mudah berpindah. Berdasarkan Gambar 37(b), diketahui bahwa titik C1 berada di daerah yang memiliki faktor amplifikasi 6 atau sedang dan titik C2 bernilai 8 atau tinggi sehingga membuat nilai indeks kerentanan seismik di titik longsor C2 lebih tinggi dibandingkan titik longsor C1, yaitu $1,1 \times 10^{-3}$ s²/m dan 6×10^{-4} s²/m, yang ditunjukkan pada Gambar 35(c). Hal ini sesuai dengan sayatan dari pemodelan stratigrafi pada Gambar 36(c) bahwa titik longsor C2 berada di kondisi lereng dengan kemiringan lebih curam dibandingkan dengan C1. Kondisi lereng yang lebih curam tidak mampu menahan massa material dan ditambah dengan massa air yang meresap, oleh karena itu kestabilan lereng di titik longsor C2 menjadi rendah dan kondisi material lunak pada lereng menjadi mudah mengalami perpindahan atau ambles.



Gambar 35. Mikrozonasi (a) Nilai Frekuensi Predominan (b) Nilai Faktor Amplifikasi dan (c) Nilai Indeks Kerentanan Seismik di Daerah Longsor Bagian C



Gambar 36. *Cross-section* Pemodelan (a) Nilai Kecepatan Gelombang Geser (v_s)
(b) Nilai Faktor Amplifikasi (c) Stratigrafi Lapisan Sedimen-Bedrock
di Daerah Longsor Bagian C

Berdasarkan identifikasi yang telah dipaparkan di atas, dapat disimpulkan bahwa daerah longsor bagian C berada pada Formasi Kebobotak dan memiliki nilai frekuensi predominan 6-7 Hz yang tersusun atas breksi, batu lempung, batu pasir, dan tuff dengan ketebalan lapisan sedimen ± 20 m. Faktor amplifikasi di daerah tersebut bernilai 6 dan 8 atau berada dalam kategori sedang dan tinggi. Nilai indeks kerentanan seismik bernilai 6×10^{-4} dan $1,1 \times 10^{-3} \text{ s}^2/\text{m}$ atau berada dalam kategori sedang dan tinggi. Kondisi daerah yang memiliki kemiringan lereng yang curam dan banyak tumbuh vegetasi di sekitarnya menyebabkan proses pelapukan terjadi lebih cepat sehingga lapisan permukaan tersusun atas material lunak yang mudah untuk menyerap air dan mengalami pergeseran yang berakibat terjadi tanah longsor.

Daerah longsor A, B, maupun C berada pada jalan dengan tebing curam di salah satu sisi sekaligus jurang yang curam di sisi lainnya yang mengakibatkan jalan tersebut ambrol dan membahayakan warga masyarakat yang melintas atau mengakibatkan runtuhan yang menutup akses jalan tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa tebing atau jurang yang curam tersebut rentan mengalami deformasi sehingga massa tanah di tebing atau jurang tersebut runtuh. Selain itu, kejadian tanah longsor di lokasi penelitian juga dapat membahayakan keselamatan warga yang ada di sekitarnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 27(a), dimana kondisi lereng yang tepat berada di belakang rumah warga tersebut sudah mulai lapuk dan terkikis. Apabila terdorong oleh curah hujan yang tinggi, lokasi tersebut dapat mengalami longsor dan menimpa rumah warga yang ada di bawahnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kecamatan Bagelen memiliki persebaran nilai frekuensi predominan antara $0,77 - 17,43$ Hz, nilai faktor amplifikasi antara $1,01 - 15,50$, nilai ketebalan sedimen antara $3,09 - 100$ m dan nilai indeks kerentanan seismik antara $6,27 \times 10^{-5} - 1,59 \times 10^{-3}$ s²/m. Kerentanan seismik sedang hingga tinggi dominan berada di Formasi Kebobutak dan Andesit yang merupakan daerah dataran tinggi dan berlereng.
2. Daerah rawan longsor di Kecamatan Bagelen berada pada persebaran nilai frekuensi predominan $6 - 8$ Hz, nilai faktor amplifikasi $6 - 8$, nilai ketebalan sedimen $15 - 50$ m, dan nilai indeks kerentanan seismik $5 \times 10^{-4} - 1,1 \times 10^{-3}$ s²/m. Daerah tersebut didominasi oleh batuan keras breksi-andesit, batuan lempung dan batuan pasir, dengan kemiringan curam serta berada pada topografi tinggi yang menyebabkan proses pelapukan terjadi lebih cepat dan mempermudah material lapuk untuk terlongsorkan.

B. Saran

Beberapa hal yang perlu dilakukan untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Melakukan penelitian dan analisis tambahan dengan metode lain khususnya metode yang terkait dengan sifat fisis batuan serta fenomena tanah longsor seperti metode metode geolistrik dan elektromagnetik.
2. Perlu dilakukan penelitian yang lebih detail terkait fenomena tanah longsor dengan cara merapatkan jarak antar titik penelitian, hal ini dikarenakan daerah penelitian merupakan perbukitan.

DAFTAR PUSTAKA

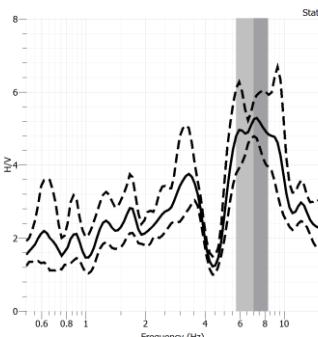
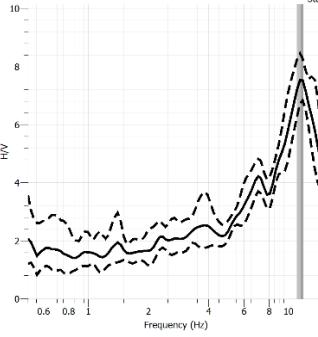
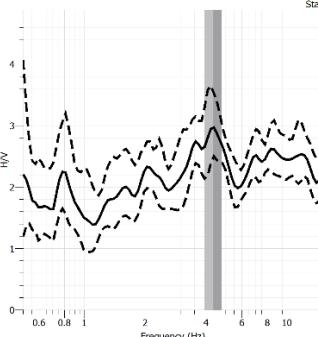
- Arai, Hiroshi & Kohji Tokimatsu. 2005. S-wave Velocity Profiling by Joint Inversion of Microtremor Dispersion Curve and Horizontal-to-Vertical (H/V) Spectrum. *Bulletin of the Seismological Society of America Vol. 95 No. 5.*
- Arfiansah, Ihsan. 2015. *Analisis Daerah Rawan Longsor menggunakan Data Mikroseismik di Desa Kalibening, Majatengah dan Sidakangen, Kecamatan Kalibening, Kabupaten Banjarnegara.* Skripsi. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Arifin, Satria Subkhi., Mulyatno, Bagus Sapto., Marjiyono & Setianegara, Roby. 2013. Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Frekuensi Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya. *Jurnal Geofisika Eksplorasi Vol. 2, No. 1.*
- Atmoko, Dadang Tri. 2017. *Analisis Bahaya Longsorlahan di Wilayah Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah.* Tesis. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa dan Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.* Jakarta: BSN, SNI 1726: 2012.
- BMKG. 2016. *Analisis Kejadian Banjir dan Longsor di Beberapa Wilayah Propinsi Jawa Tengah.* Semarang: BMKG.
- BNPB. 2013. *Peta Bahaya Tanah Longsor di Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah.*
- BPBD, 2017. *Rekap Laporan Kejadian Kabupaten Purworejo 2013 - 2017.*
- BPS Kabupaten Purworejo. 2016. *Kecamatan Bagelen dalam Angka: 2017.* Purorejo: BPS Kabupaten Purworejo.
- Bemmelen, R.W. Van. 1949. *The Geology of Indonesia.* US: Government Printing Office, The Hague.
- Dewi, Tara Shinta. 2017. Zonasi Rawan Bencana Tanah Longsor dengan Metode Analisis GIS: Studi Kasus Daerah Semono dan Sekitarnya, Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah. *Jurnal Mineral, Energi dan Lingkungan Vol. 1 ISSN 2549-7197.*
- Fah, Donat., Kind, Fortunat & Giardini, Domenico. 2001. A Theoretical Investigation of Average H/V Ratios. *Geophys. J. Int. (2001) 145, 535-549.*
- Gok, Elcin & Orhan Polat. 2012. Microtremor HVSR Site Effects in Bursa City (Northern Marmara Region, Turkey). *Earthquake Research and Analysis-New Frontiers in Seismology, InTech, ISBN: 978-953-307-840-3.*

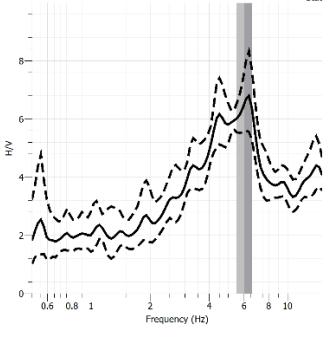
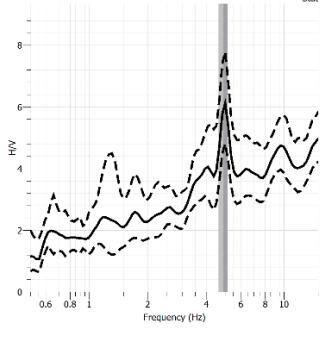
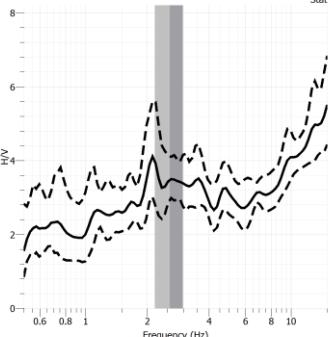
- Ilyas, Tommy. 2011. Tanah Longsor (Landslide). *Bahan Ajar MPKT-B*.
- Kayal, J.R. 2008. *Microearthquake Seismology and Seismotectonics of South Asia*. New York, USA: Springer.
- Lermo, Javier & Francisco JC Gracia,. 1993. *Site Effect Evaluation using Spectral Ratios with only One Station*. Amerika: Bulletin of Seismological Society of America, Vol. 83, No. 5, 1574-1594.
- Mey, Estuning Tyas Wulan. 2009. Land Use Planning for Settlements Area in consideration of Flood and Landslide Hazards in Bagelen, Purworejo, Indonesia. *Indonesian Journal of Geography ISSN 0024-9521 Vol.41 Gadjah Mada University*.
- Mirzaoglu, Mate & Unai Dykmen. 2003. Application of Microtremors to Seismic Microzoning Procedure. *Journal of The Balkan Geophysical Society Vol. 6*.
- Nakamura, Yutaka. 1989. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on Ground Surface. *Quarterly Report of Railwat Technical Research Institute (RTRI) Vol. 30 No. 1*.
- Nakamura, Yutaka. 1997. Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures using Microtremor. *World Congress on Railway Research, Japan*.
- Nakamura, Yutaka. 2000. Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applications. *System and Data Research, Japan*.
- Nakamura, Yutaka. 2008. On the H/V Spectrum. *The 14th World Conference on Eathquake Engineering, Oct 12-17, Beijing, China*.
- Nandi. 2007. *Longsor*. Bandung: FSIPS UPI.
- Patimah. 2017. *Analisis Litologi Bawah Permukaan berdasarkan Ground Profiles Kecepatan Gelombang Geser dengan Metode Ellipticity Curve di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Pazzi, Veronica, L.Tanteri, G. Bicocchi, M. D'Ambrosio & A. Caselli. 2016. H/V Measurements as an Effective Tool for the Reliable Detection of Landslide Slip Surfaces: Case Studies of Castagnola and Roccalbegna, Italy. *Physics and Chemistry of Earth 98 (2017) 136-153, Elsevier Ltd*.
- Pramumijoyo, Subagyo & Dwikorita Karnawati. 2008. Penanganan Bencana Gerakan Tanah di Indonesia. *Makalah Penanganan Gerakan Tanah Di Indoensia, Jurusan Teknik Geologi UGM, Yogyakarta*.
- Pustadinmas BNPB. 2016. "Info Bencana: Informasi Kebencanaan Teraktual" dalam *laporan BNPB Edisi Juni 2016*.
- Putri, Yustina Dewi Anggraeni. 2016. *Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik di Kawasan Jalur Sesar Opak berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

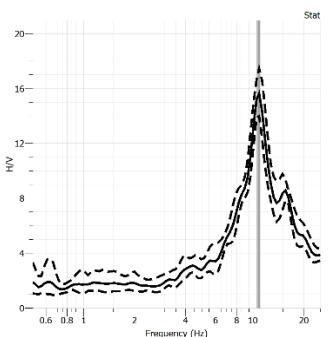
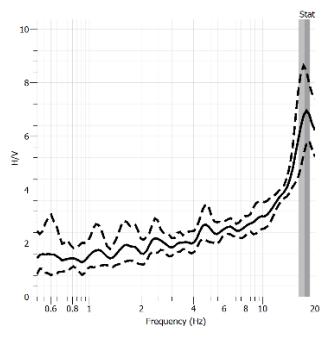
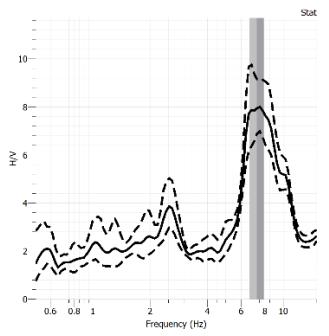
- Ramadhan, Faiz Deja. 2016. *Analisis Data Mikroseismik untuk Pemetaan Area Rawan Longsor di Daerah Dieng Kulon, Desa Karangtengah, Kecamatan Batur, Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Ratdomopurbo, A. 2008. *Pedoman Mikrozonasi, Materi Kursus, Bandung*.
- Samsudin, Abdul Rahim. “Seismic Refraction Surveying” diakses melalui <http://www.ukm.my/rahim/Seismic%20Refraction%20Surveying.htm> pada tanggal 29 Maret 2018.
- SESAME. 2004. *Guidelines For the Implementation Of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations*. Europe: SESAME European Research Project.
- Shaleha, Ayu, Supriyadi & Ngurah Made Darma Putra. 2016. Identifikasi Struktur Lapisan Tanah Daerah Rawan Longsor di Kecamatan Banyubiru, Kabupaten Semarang dengan Metode HVSR. *Unnes Physics Journal* 5 (2) 2016.
- Slob, Siefko. 2007. *Micro Seismic Hazard Analysis*. Netherland: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.
- Subramanian, N. 2008. *Design of Steel Structures: Appendix C Properties of Soil*. India: Oxford University Press.
- Telford, W. M, L.P Geldart & R. E. Sheriff. 1990. *Applied Geophysics, Second Edition*. New York: Cambridge University Press.
- Warnana, Dwa Desa, Ria Asih Aryani Soemitro & Widya Utama. 2011. Application of Microtromor HVSR Method for Assessing Site Effect in Residual Soil Slope. *International Journal of Basic and Applied Sciences IJBAS-IJENS Vol 11 No 4*.
- Warnana, Dwa Desa, Ria Asih Aryani Soemitro & Widya Utama. 2011. Local Site Effect of a Landslide in Jember based on Microtremor Measurement. *The Second International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation (ICEEDM-2) Surabaya 19-20 July 2011*.

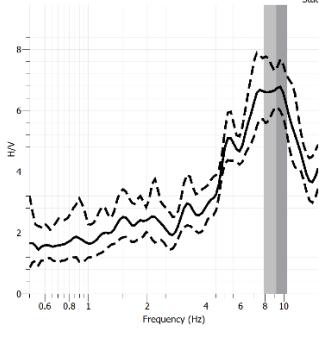
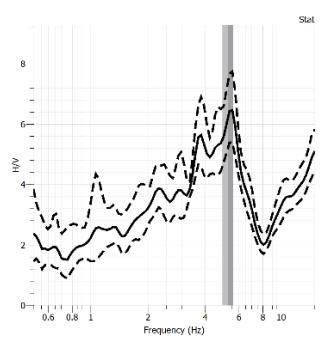
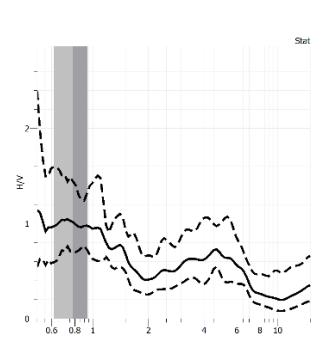
Lampiran 1

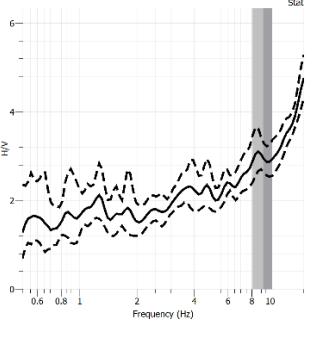
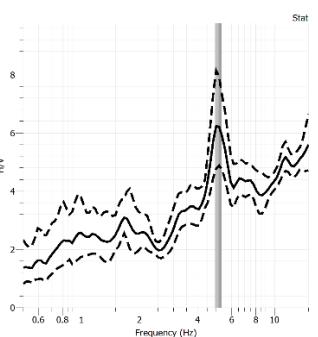
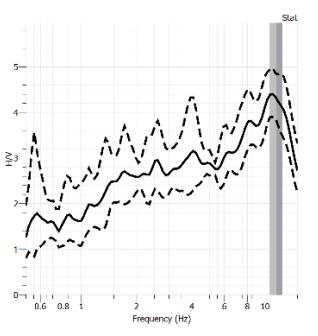
Kurva H/V Hasil Pengolahan Sinyal Mikrotremor

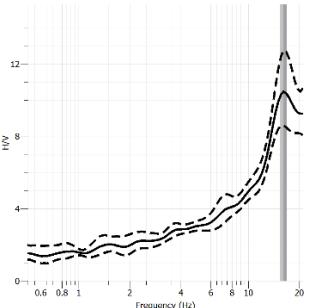
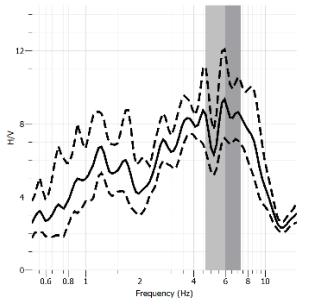
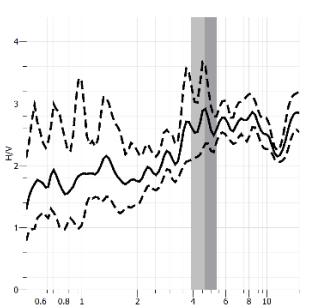
Titik	Kurva HVSR	Kriteria
S1	 <p>Frequency (Hz)</p>	$f_0 = 7,0271$ $A = 5,253$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $7,0271 > 0,5$ ii. Terpenuhi $1405.41 > 200$ iii. Terpenuhi $1,2991 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Tidak terpenuhi $3,0682 > 2,6265$ ii. Tidak terpenuhi $3,6993 > 2,6265$ iii. Terpenuhi $5,253 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,0918 < 1,7567$ vi. Terpenuhi $1,2992 < 3$
S3	 <p>Frequency (Hz)</p>	$f_0 = 11,4817$ $A = 10,6546$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $11,4817 > 0,5$ ii. Terpenuhi $2296,34 > 200$ iii. Terpenuhi $1,9595 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Tidak terpenuhi $5,3273 > 5,001$ ii. Tidak terpenuhi $8,6867 > 5,001$ iii. Terpenuhi $10,6546 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,2891 < 2,8704$ vi. Terpenuhi $1,9595 < 3$
S5	 <p>Frequency (Hz)</p>	$f_0 = 4,3456$ $A = 2,9722$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $4,3456 > 0,5$ ii. Terpenuhi $869,118 > 200$ iii. Terpenuhi $0,2981 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Tidak terpenuhi $2,1304 > 1,4861$ ii. Tidak terpenuhi $2,4168 > 1,4861$ iii. Terpenuhi $2,9722 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,0879 < 1,0864$ vi. Terpenuhi $0,2981 < 3$

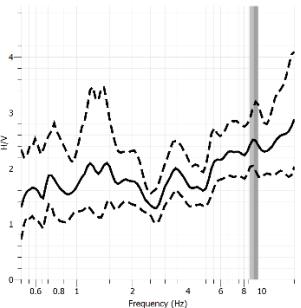
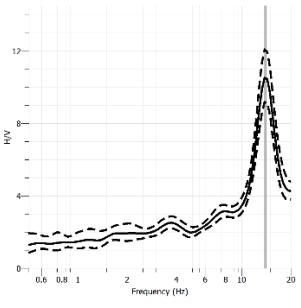
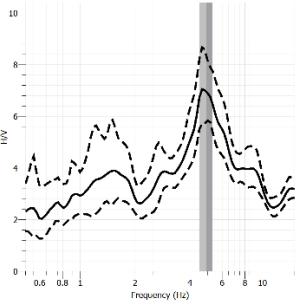
Titik	Kurva HVSR	Kriteria
S9		$f_0 = 6,038$ $A = 6,5481$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $6,038 > 0,5$ ii. Terpenuhi $1207,61 > 200$ iii. Terpenuhi $1,0944 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Tidak terpenuhi $3,9639 > 3,2741$ ii. Tidak terpenuhi $4,3488 > 3,2741$ iii. Terpenuhi $6,5481 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,2851 < 1,5095$ vi. Terpenuhi $1,0944 < 3$
S16		$f_0 = 4,8841$ $A = 5,8778$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $4,8841 > 0,5$ ii. Terpenuhi $976,83 > 200$ iii. Terpenuhi $0,8246 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $2,9069 < 2,9389$ ii. Tidak terpenuhi $4,3291 > 2,9389$ iii. Terpenuhi $5,8778 > 2$ iv. Terpenuhi v. Terpenuhi $0,5955 < 1,2211$ vi. Terpenuhi $0,8246 < 3$
S19		$f_0 = 2,5769$ $A = 3,4833$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $2,5769 > 0,5$ ii. Terpenuhi $515,39 > 200$ iii. Terpenuhi $0,4036 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Tidak terpenuhi $2,6858 > 1,7417$ ii. Tidak terpenuhi $3,2479 > 1,7417$ iii. Terpenuhi $3,4833 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,0333 < 0,6442$ vi. Terpenuhi $0,4036 < 3$

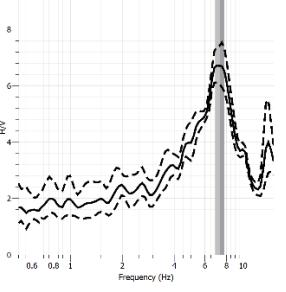
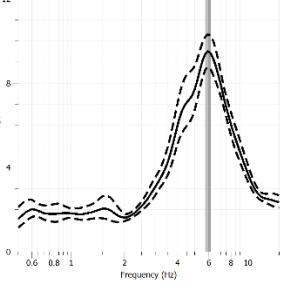
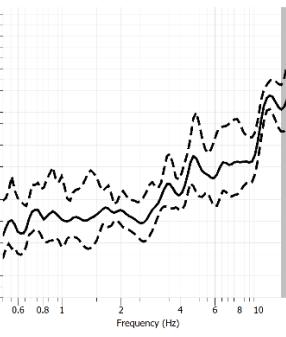
Titik	Kurva HVSR	Kriteria
S21	 <p>Stat</p>	$f_0 = 10,7781$ $A = 6,5481$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $10,7781 > 0,5$ ii. Terpenuhi $2155,62 > 200$ iii. Tidak terpenuhi $3,3993 > 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $5,0258 < 7,7519$ ii. Terpenuhi $7,4972 < 7,7519$ iii. Terpenuhi $15,5038 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,6521 < 2,6945$ vi. Tidak terpenuhi $3,3993 > 3$
S23	 <p>Stat</p>	$f_0 = 17,4365$ $A = 6,8364$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $17,4365 > 0,5$ ii. Terpenuhi $3487,3 > 200$ iii. Terpenuhi $1,4975 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $3,1251 < 3,4182$ ii. Tidak terpenuhi $6,6457 > 3,4182$ iii. Terpenuhi $6,8364 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,0955 < 4,3591$ vi. Terpenuhi $1,4975 < 3$
S27	 <p>Stat</p>	$f_0 = 7,2893$ $A = 7,9403$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $7,2893 > 0,5$ ii. Terpenuhi $1457,86 > 200$ iii. Tidak terpenuhi $2,2483 > 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $3,2687 < 3,9701$ ii. Tidak terpenuhi $4,8114 > 3,9701$ iii. Terpenuhi $7,9403 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,0778 < 1,8223$ vi. Terpenuhi $2,2483 < 3$

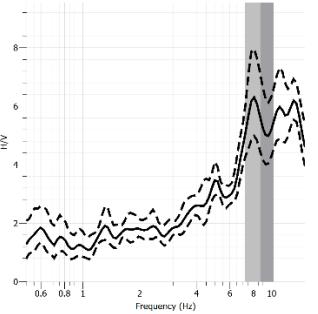
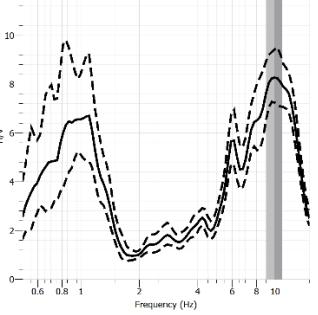
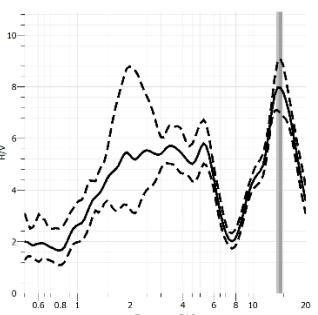
Titik	Kurva HVSR	Kriteria
S34	 <p>Stat</p>	$f_0 = 9,1597$ $A = 6,7096$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $9,1597 > 0,5$ ii. Terpenuhi $1831,94 > 200$ iii. Terpenuhi $1,0652 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Tidak terpenuhi $4,1395 > 3,3548$ ii. Tidak terpenuhi $5,0549 > 3,3548$ iii. Terpenuhi $6,7096 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,0869 < 2,2899$ vi. Terpenuhi $1,0652 < 3$
S37	 <p>Stat</p>	$f_0 = 5,2528$ $A = 6,202$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $5,2528 > 0,5$ ii. Terpenuhi $1050,56 > 200$ iii. Terpenuhi $1,2827 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Tidak terpenuhi $3,8902 > 3,101$ ii. Tidak terpenuhi $3,8429 > 3,101$ iii. Terpenuhi $6,202 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,4086 < 1,3132$ vi. Terpenuhi $1,2827 < 3$
S39	 <p>Stat</p>	$f_0 = 0,7778$ $A = 1,0167$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $0,7778 > 0,5$ ii. Terpenuhi $1555,66 > 200$ iii. Terpenuhi $0,13 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Tidak terpenuhi $1,0179 > 0,5083$ ii. Tidak terpenuhi $0,6765 > 0,5083$ iii. Tidak terpenuhi $1,0167 < 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,0281 < 0,1944$ vi. Terpenuhi $0,13 < 3$

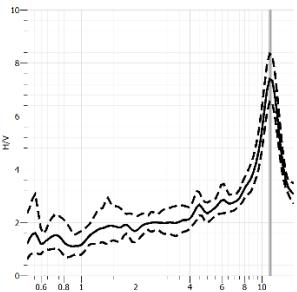
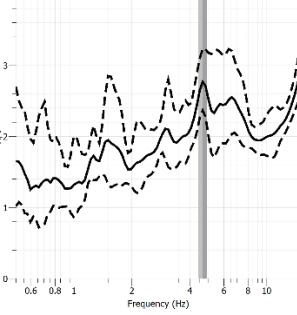
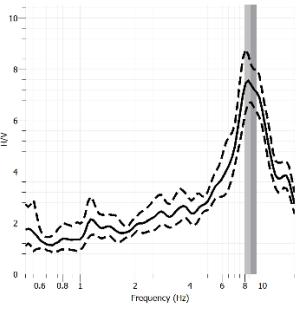
Titik	Kurva HVSR	Kriteria
S41	 <p>Plot showing HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) versus Frequency (Hz). The y-axis ranges from 0 to 6, and the x-axis ranges from 0.5 to 10 Hz. A shaded gray area labeled 'Stat' indicates the confidence interval.</p>	$f_0 = 9,2019$ $A = 2,962$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $9,2019 > 0,5$ ii. Terpenuhi $1840,39 > 200$ iii. Terpenuhi $0,6959 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Tidak terpenuhi $2,2734 > 1,481$ ii. Tidak terpenuhi $3,5081 > 1,481$ iii. Terpenuhi $2,962 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,0813 < 2,3$ vi. Terpenuhi $0,6959 < 3$
S43	 <p>Plot showing HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) versus Frequency (Hz). The y-axis ranges from 0 to 8, and the x-axis ranges from 0.5 to 10 Hz. A shaded gray area labeled 'Stat' indicates the confidence interval.</p>	$f_0 = 5,1389$ $A = 6,2204$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $5,1389 > 0,5$ ii. Terpenuhi $1027,78 > 200$ iii. Terpenuhi $1,0279 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $3,0876 < 3,11$ ii. Tidak terpenuhi $4,6892 > 3,11$ iii. Terpenuhi $6,2204 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,3608 < 1,2847$ vi. Terpenuhi $1,0279 < 3$
S45	 <p>Plot showing HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) versus Frequency (Hz). The y-axis ranges from 0 to 5, and the x-axis ranges from 0.5 to 10 Hz. A shaded gray area labeled 'Stat' indicates the confidence interval.</p>	$f_0 = 11,5051$ $A = 4,3104$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $11,5051 > 0,5$ ii. Terpenuhi $2301,02 > 200$ iii. Terpenuhi $0,4912 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Tidak terpenuhi $3,2557 > 2,1552$ ii. Tidak terpenuhi $4,6993 > 2,1552$ iii. Terpenuhi $4,3104 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,1089 < 2,8762$ vi. Terpenuhi $0,4912 < 3$

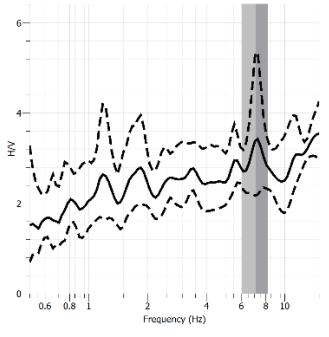
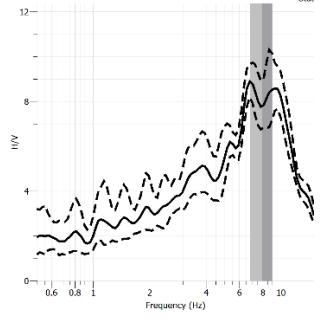
Titik	Kurva HVSR	Kriteria
S54	 <p>A line graph showing the HVSR spectrum. The y-axis is labeled 'HVSR' and ranges from 0 to 12. The x-axis is labeled 'Frequency (Hz)' and ranges from 0 to 20. A solid black line represents the measured spectrum, which shows a sharp peak around 16 Hz. A dashed line represents the background noise level. A vertical grey bar highlights the peak area.</p>	$f_0 = 16,1387$ $A = 10,4569$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $16,1496 > 0,5$ ii. Terpenuhi $3550,51 > 200$ iii. Tidak terpenuhi $2,3652 > 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $4,8928 < 5,2284$ ii. Tidak terpenuhi $9,76557 > 5,2284$ iii. Terpenuhi $10,4569 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,6088 < 4,0346$ vi. Terpenuhi $2,3652 < 3$
S55	 <p>A line graph showing the HVSR spectrum. The y-axis is labeled 'HVSR' and ranges from 0 to 12. The x-axis is labeled 'Frequency (Hz)' and ranges from 0 to 10. The spectrum shows several peaks, notably around 1, 2, 4, and 6 Hz. A solid black line represents the measured spectrum, and a dashed line represents the background noise level. A vertical grey bar highlights the peak area.</p>	$f_0 = 5,9829$ $A = 9,2246$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $5,9829 > 0,5$ ii. Terpenuhi $1196,58 > 200$ iii. Terpenuhi $1,7876 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Tidak terpenuhi $6,6753 > 4,6123$ ii. Tidak terpenuhi $5,5543 > 4,6123$ iii. Terpenuhi $9,22463 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,2678 < 1,4957$ vi. Terpenuhi $1,7876 < 3$
S57	 <p>A line graph showing the HVSR spectrum. The y-axis is labeled 'HVSR' and ranges from 0 to 4. The x-axis is labeled 'Frequency (Hz)' and ranges from 0 to 10. The spectrum shows multiple peaks, with a notable one around 4 Hz. A solid black line represents the measured spectrum, and a dashed line represents the background noise level. A vertical grey bar highlights the peak area.</p>	$f_0 = 4,6368$ $A = 9,22463$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $4,6368 > 0,5$ ii. Terpenuhi $1112,84 > 200$ iii. Terpenuhi $0,316023 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Tidak terpenuhi $2,0998 > 1,45392$ ii. Tidak terpenuhi $2,6172 > 1,45392$ iii. Terpenuhi $2,9078 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,1602 < 1,1592$ vi. Terpenuhi $0,3161 < 3$

Titik	Kurva HVSR	Kriteria
S59	 <p>Frequency (Hz)</p>	$f_0 = 9,0746$ $A = 2,507$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $9,0746 > 0,5$ ii. Terpenuhi $2177,91 > 200$ iii. Terpenuhi $0,3111 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Tidak terpenuhi $1,882 > 1,2535$ ii. Tidak terpenuhi $2,516 > 1,2535$ iii. Terpenuhi $2,507 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,3111 < 2,2686$ vi. Terpenuhi $2,3652 < 3$
S63	 <p>Frequency (Hz)</p>	$f_0 = 14,02$ $A = 10,4971$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $14,02 > 0,5$ ii. Terpenuhi $2804 > 200$ iii. Terpenuhi $2,5508 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $3,5597 < 5,2485$ ii. Tidak terpenuhi $6,8915 > 5,2485$ iii. Terpenuhi $10,4971 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,6756 < 3,505$ vi. Terpenuhi $2,5508 < 3$
S73	 <p>Frequency (Hz)</p>	$f_0 = 4,9255$ $A = 6,943$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $4,9255 > 0,5$ ii. Terpenuhi $1182,142 > 200$ iii. Terpenuhi $1,1637 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Tidak terpenuhi $4,0597 > 3,4713$ ii. Tidak terpenuhi $4,0241 > 3,4713$ iii. Terpenuhi $6,9427 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,2179 < 1,2313$ vi. Terpenuhi $1,1637 < 3$

Titik	Kurva HVSR	Kriteria
S75	 <p>A graph showing HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) versus Frequency (Hz). The x-axis ranges from 0.6 to 10 Hz with major ticks every 1.2 Hz. The y-axis ranges from 0 to 8 with major ticks every 2 units. There are several data series represented by different line styles (solid, dashed, dotted) and markers. A prominent peak is shaded in grey, centered around 7 Hz.</p>	$f_0 = 7,3495$ $A = 6,7022$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $7,3495 > 0,5$ ii. Terpenuhi $1616,89 > 200$ iii. Terpenuhi $1,31831 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Tidak terpenuhi $3,467 > 3,3511$ ii. Tidak terpenuhi $4,025 > 3,3511$ iii. Terpenuhi $6,7022 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,3291 < 1,8373$ vi. Terpenuhi $1,3183 < 3$
S77	 <p>A graph showing HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) versus Frequency (Hz). The x-axis ranges from 0.6 to 10 Hz with major ticks every 1.2 Hz. The y-axis ranges from 0 to 12 with major ticks every 4 units. There are several data series represented by different line styles (solid, dashed, dotted) and markers. A prominent peak is shaded in grey, centered around 7 Hz.</p>	$f_0 = 5,9567$ $A = 9,5005$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $5,9567 > 0,5$ ii. Terpenuhi $1310,48 > 200$ iii. Tidak terpenuhi $2,1831 > 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $4,1918 < 4,7502$ ii. Tidak terpenuhi $4,9785 > 4,7502$ iii. Terpenuhi $9,5005 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,2587 < 1,4892$ vi. Terpenuhi $2,1830 < 3$
S79	 <p>A graph showing HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) versus Frequency (Hz). The x-axis ranges from 0.6 to 10 Hz with major ticks every 1.2 Hz. The y-axis ranges from 0 to 5 with major ticks every 1 unit. There are several data series represented by different line styles (solid, dashed, dotted) and markers. A prominent peak is shaded in grey, centered around 7 Hz.</p>	$f_0 = 13,9617$ $A = 3,6308$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $13,9617 > 0,5$ ii. Terpenuhi $2792,34 > 200$ iii. Terpenuhi $0,5475 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Tidak terpenuhi $2,6422 > 1,8154$ ii. Tidak terpenuhi $3,6609 > 1,8154$ iii. Terpenuhi $3,6308 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,4812 < 3,4904$ vi. Terpenuhi $0,5477 < 3$

Titik	Kurva HVSR	Kriteria
S81	 <p>A graph showing HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) versus Frequency (Hz). The x-axis ranges from 0.6 to 10 Hz, and the y-axis ranges from 0 to 10. There are several data series represented by different line styles (solid, dashed, dotted), all showing a prominent peak around 8-10 Hz. A vertical gray bar highlights this peak.</p>	$f_0 = 8,766$ $A = 5,5333$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $8,76602 > 0,5$ ii. Terpenuhi $1753,2 > 200$ iii. Terpenuhi $1,2794 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Tidak terpenuhi $3,0276 > 2,766$ ii. Tidak terpenuhi $5,5493 > 2,766$ iii. Terpenuhi $5,5333 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,3908 < 2,1915$ vi. Terpenuhi $1,2794 < 3$
S91	 <p>A graph showing HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) versus Frequency (Hz). The x-axis ranges from 0.6 to 10 Hz, and the y-axis ranges from 0 to 10. Multiple data series show peaks at approximately 0.8 Hz, 2.5 Hz, and 8-10 Hz. A vertical gray bar highlights the peak between 7 and 10 Hz.</p>	$f_0 = 9,9494$ $A = 8,2609$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $9,9494 > 0,5$ ii. Terpenuhi $2586,86 > 200$ iii. Terpenuhi $1,8521 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $3,8092 < 4,1304$ ii. Tidak terpenuhi $6,1866 > 4,1304$ iii. Terpenuhi $8,2609 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,4484 < 2,4873$ vi. Terpenuhi $1,8521 < 3$
S93	 <p>A graph showing HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) versus Frequency (Hz). The x-axis ranges from 0.6 to 20 Hz, and the y-axis ranges from 0 to 10. Multiple data series show peaks at approximately 1.5 Hz, 2.5 Hz, 6 Hz, and 10-12 Hz. A vertical gray bar highlights the peak between 7 and 10 Hz.</p>	$f_0 = 14,1544$ $A = 7,9659$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $14,1544 > 0,5$ ii. Terpenuhi $3397,05 > 200$ iii. Terpenuhi $1,9747 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Tidak terpenuhi $4,6850 > 3,9829$ ii. Tidak terpenuhi $6,0581 > 3,9829$ iii. Terpenuhi $7,9659 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,5331 < 3,5386$ vi. Terpenuhi $1,9747 < 3$

Titik	Kurva HVSR	Kriteria
S95	 <p>A graph showing HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) versus Frequency (Hz). The y-axis ranges from 0 to 10, and the x-axis ranges from 0.6 to 10 Hz. Multiple curves are plotted, and a vertical shaded bar highlights a prominent peak between approximately 4 and 8 Hz.</p>	$f_0 = 11,1289$ $A = 7,3794$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $11,1289 > 0,5$ ii. Terpenuhi $2893,51 > 200$ iii. Terpenuhi $1,555 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $3,0331 < 3,6897$ ii. Tidak terpenuhi $4,9846 > 3,6897$ iii. Terpenuhi $7,3794 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,4971 < 2,7822$ vi. Terpenuhi $1,555 < 3$
S97	 <p>A graph showing HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) versus Frequency (Hz). The y-axis ranges from 0 to 3, and the x-axis ranges from 0.6 to 10 Hz. Multiple curves are plotted, and a vertical shaded bar highlights a prominent peak between approximately 4 and 8 Hz.</p>	$f_0 = 4,6699$ $A = 2,7636$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $4,6699 > 0,5$ ii. Terpenuhi $933,99 > 200$ iii. Terpenuhi $0,2875 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Tidak terpenuhi $1,8774 > 1,3818$ ii. Tidak terpenuhi $2,3129 > 1,3818$ iii. Terpenuhi $2,7636 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,2105 < 1,1674$ vi. Terpenuhi $0,2875 < 3$
S99	 <p>A graph showing HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) versus Frequency (Hz). The y-axis ranges from 0 to 10, and the x-axis ranges from 0.6 to 10 Hz. Multiple curves are plotted, and a vertical shaded bar highlights a prominent peak between approximately 4 and 8 Hz.</p>	$f_0 = 8,6199$ $A = 7,4245$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $8,6199 > 0,5$ ii. Terpenuhi $1723,98 > 200$ iii. Terpenuhi $1,6286 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $3,4225 < 3,7122$ ii. Tidak terpenuhi $4,9295 > 3,7122$ iii. Terpenuhi $7,4245 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,3776 < 2,1549$ vi. Terpenuhi $1,6286 < 3$

Titik	Kurva HVSR	Kriteria
ST1	 <p>Graph showing HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) versus Frequency (Hz). The x-axis ranges from 0.6 to 10 Hz, and the y-axis ranges from 0 to 6. A shaded gray area highlights a prominent peak between approximately 6 and 8 Hz.</p>	$f_0 = 7,1445$ $A = 3,3999$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $7,1445 > 0,5$ ii. Terpenuhi $1428,91 > 200$ iii. Terpenuhi $0,3175 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Tidak terpenuhi $2,6028 > 1,6999$ ii. Tidak terpenuhi $3,0121 > 1,6999$ iii. Terpenuhi $3,3999 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,3181 < 1,7861$ vi. Terpenuhi $0,3175 < 3$
ST2	 <p>Graph showing HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) versus Frequency (Hz). The x-axis ranges from 0.6 to 10 Hz, and the y-axis ranges from 0 to 12. A shaded gray area highlights a prominent peak between approximately 6 and 8 Hz.</p>	$f_0 = 7,9273$ $A = 7,7972$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. Terpenuhi $7,9273 > 0,5$ ii. Terpenuhi $1585,47 > 200$ iii. Terpenuhi $1,8232 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. Tidak terpenuhi $5,2281 > 3,8986$ ii. Tidak terpenuhi $6,1657 > 3,8986$ iii. Terpenuhi $7,7972 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. Terpenuhi $0,1673 < 1,9818$ vi. Terpenuhi $1,8232 < 3$

Lampiran 2

Hasil Kriteria Kurva Relialbel dan Kurva *Clear Peak* berdasarkan *SESAME European Research Project*

Titik	n_w	f_0	A	Reliable			Clear Peak					
				I	ii	iii	i	II	iii	iv	v	Vi
S1	10	7.027	5.253	v	v	v	-	-	v	-	v	v
S3	10	11.4817	10.6546	v	v	v	-	-	v	-	v	v
S5	10	4.34559	2.97229	v	v	v	-	-	v	-	v	v
S9	10	6.03801	6.54816	v	v	v	-	-	v	-	v	v
S16	10	4.88417	5.87789	v	v	v	v	-	v	v	v	v
S19	10	2.57699	3.48334	v	v	v	-	-	v	-	v	v
S21	10	10.7781	15.5038	v	v	-	v	v	v	-	v	-
S23	10	17.4365	6.8364	v	v	v	v	-	v	-	v	v
S27	10	7.28934	7.9403	v	v	-	v	v	v	-	v	-
S34	10	9.15974	6.70965	v	v	v	-	-	v	-	v	v
S37	10	5.25281	6.20205	v	v	v	-	-	v	-	v	v
S39	10	0.7778	1.01674	v	v	v	-	-	-	-	v	v
S41	10	9.201995	2.96202	v	v	v	-	-	v	-	v	v
S43	10	5.13893	6.22047	v	v	v	v	-	v	-	v	v
S45	10	11.5051	4.3104	v	v	v	-	-	v	-	v	v
S54	10	16,1496	11,7135	v	v	-	v	-	v	-	v	v
S55	10	5,98294	9,22463	v	v	v	-	-	v	-	v	v
S57	12	4,63683	2,90784	v	v	v	-	-	v	-	v	v
S59	12	9,07465	2,50703	v	v	v	-	-	v	-	v	v
S63	10	14,2503	13,5457	v	v	-	v	-	v	-	v	v
S73	12	4,92559	6,94271	v	v	v	-	-	v	-	v	v
S75	11	7,34952	6,70227	v	v	v	-	-	v	-	v	v
S77	10	5,97722	11,2007	v	v	-	v	v	v	-	v	v
S79	10	13,9617	3,63087	v	v	v	-	-	v	-	v	v
S81	10	8,76602	5,53333	v	v	v	-	-	v	-	v	v
S91	13	9,94949	8,26095	v	v	v	v	-	v	-	v	v
S93	10	9,20195	9,5519	v	v	-	v	-	v	-	v	v
S95	13	11,1289	7,37946	v	v	v	v	-	v	-	v	v
S97	10	4,66999	2,76369	v	v	v	-	-	v	-	v	v
S99	10	8,61994	7,42457	v	v	v	v	-	v	-	v	v
ST2	10	7,14454	3,39998	v	v	v	-	-	v	-	v	v
ST1	10	7,9273	7,7972	v	v	v	-	-	v	-	v	v

Tanda (v) menunjukkan bahwa syarat terpenuhi dan tanda (-) menunjukkan bahwa syarat tidak terpenuhi,

Keterangan Syarat:

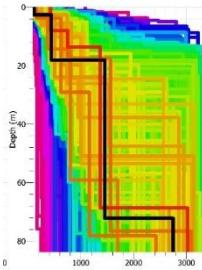
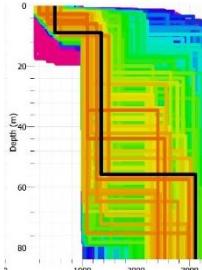
Kriteria untuk Kurva HVSR yang Reliabel

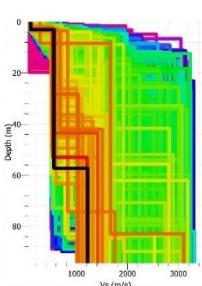
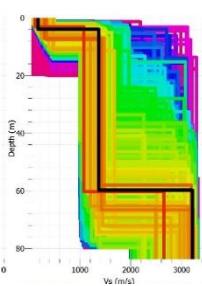
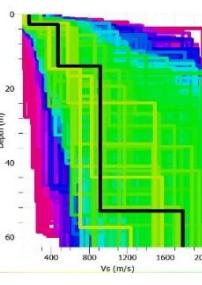
- i. $f_0 > 10/l_w$
- ii. $n_c(f_0) > 200$ dimana $n_c = n_w l_w f_0$
- iii. $\sigma_A(f) < 2$ untuk $0,5f_0 < f < 2f_0$ jika $f_0 > 0,5$ Hz atau
 $\sigma_A(f) < 3$ untuk $0,5f_0 < f < 2f_0$ jika $f_0 < 0,5$ Hz

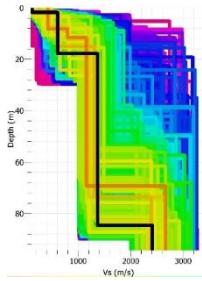
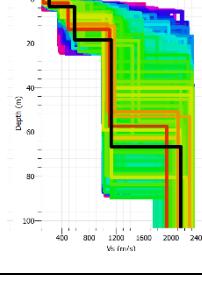
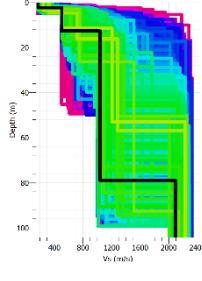
Kriteria untuk Kurva HVSR yang *Clear Peak*

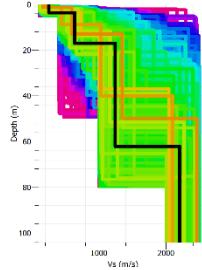
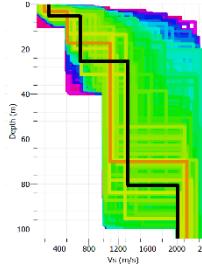
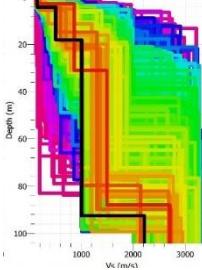
- i. $\exists f^- \in [f_0/4, f_0] |A_{HV}(f^-) < A_0/2$
- ii. $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] |A_{HV}(f^+) < A_0/2$
- iii. $A_0 > 2$
- iv. $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$
- v. $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
- vi. $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

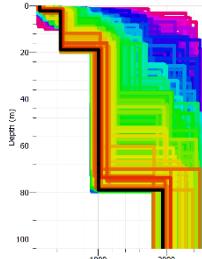
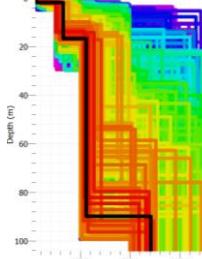
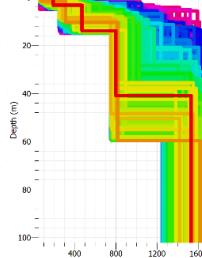
Lampiran 3
Hasil Analisis Nilai *Shear-wave Velocity* (v_s) dengan *Dinver*

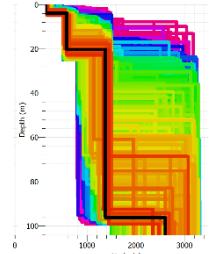
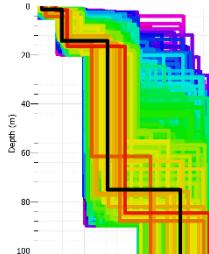
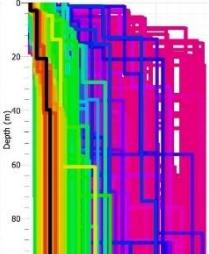
Titik	Formasi	Misfit	Gambar	v_s (m/s)	Kedalaman (m)	Lapisan	
						Jenis	Kecepataan (m/s)
S9	Andesit	0,289		119,35	2,61	Sedimen	280,66
				441,96	18,09		
				1454,62	72,18	Bedrock	1454,62
				2744,06	100		
S23	Andesit	0,212		488,03	8,92	Sedimen	488,03
				1349,68	55,7	Bedrock	1349,68
				3109,39	100		

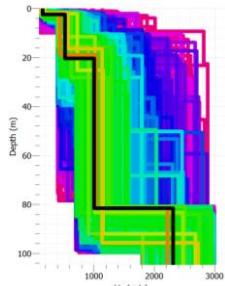
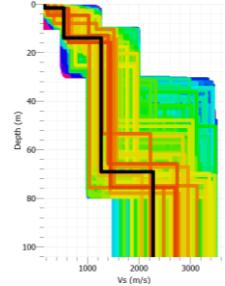
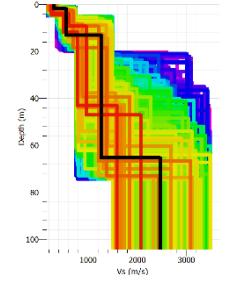
Titik	Formasi	Misfit	Gambar	v_s (m/s)	Kedalaman (m)	Lapisan	
						Jenis	Kecepataan (m/s)
S27	Andesit	0,256		101,97	3,14	Sedimen	329,48
				556,99	57,4		
				1217,72	100	Bedrock	1217,72
S34	Andesit	0,247		174,93	3,98	Sedimen	174,93
				1370,05	59,7	Bedrock	1370,05
				3215,25	100		
S43	Andesit	0,258		169,50	2,70	Sedimen	319,66
				469,82	13,97		
				915,59	53,02	Bedrock	915,59
				1784,63	100		

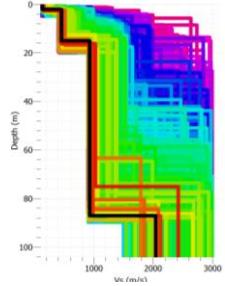
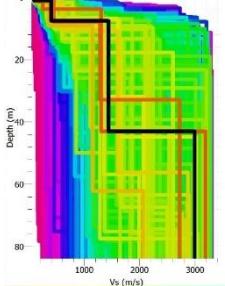
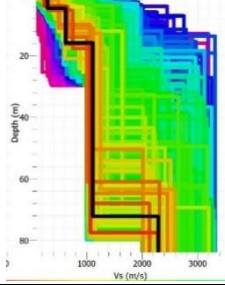
Titik	Formasi	Misfit	Gambar	v_s (m/s)	Kedalaman (m)	Lapisan	
						Jenis	Kecepataan (m/s)
S45	Andesit	0,224		124,46	1,74	Sedimen	367,63
				610,8	17,74		
				1372,76	84,63	Bedrock	1372,6
				2413,43	100		
S54	Andesit	0,201		215,462	3,573	Sedimen	400,54
				585,623	18,462		
				1122,93	66,657	Bedrock	1122,93
				2143,66	100		
S63	Andesit	0,129		176,189	2,306	Sedimen	341,87
				507,552	16,649		
				1040,79	78,942	Bedrock	1040,79
				2092,01	100		

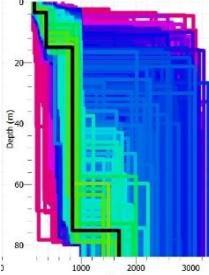
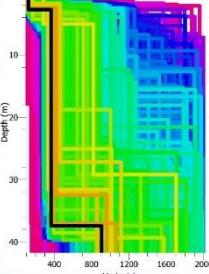
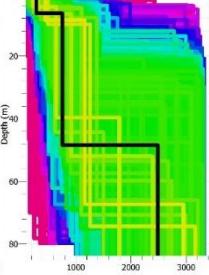
Titik	Formasi	Misfit	Gambar	v_s (m/s)	Kedalaman (m)	Lapisan	
						Jenis	Kecepataan (m/s)
S81	Andesit	0,159		252,621	3,719	Sedimen	446,55
				640,486	17,005		
				1245,94	62,172	Bedrock	1245,94
				2201,41	100		
S99	Andesit	0,152		258,188	5,268	Sedimen	469,90
				681,606	25,384		
				1333,56	80,528	Bedrock	1333,56
				2008,01	100		
T2	Andesit	0,209		157,58	4,23	Sedimen	333,91
				510,23	18,09		
				1007,02	92,56	Bedrock	1007,02
				2216,82	100		

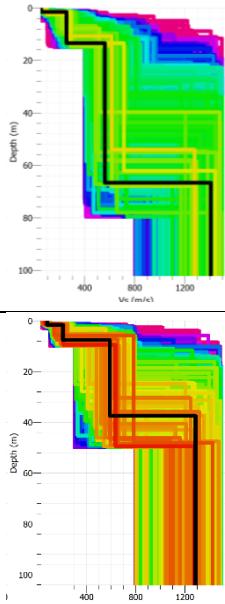
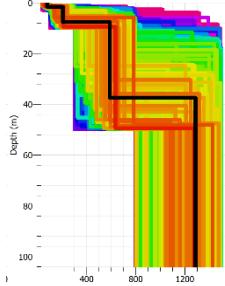
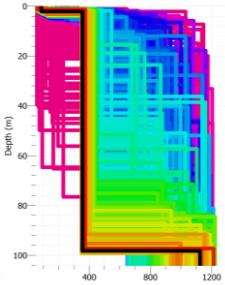
Titik	Formasi	Misfit	Gambar	v_s (m/s)	Kedalaman (m)	Lapisan	
						Jenis	Kecepataan (m/s)
S57	Kebobutak	0,157		153,45	2,280	Sedimen	302,13
				450,80	18,829		
				1005,91	78,94	Bedrock	1005,91
				1945,46	100		
S59	Kebobutak	0,167		120,19	1,798	Sedimen	388,52
				656,85	16,713		
				1120,69	89,843	Bedrock	1120,69
				2420,68	100		
S75	Kebobutak	0,191		194,483	3,235	Sedimen	332,81
				471,135	13,973		
				800,343	40,935	Bedrock	800,343
				1535,70	100		

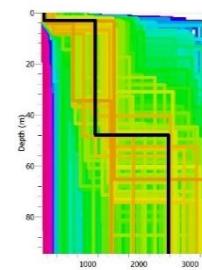
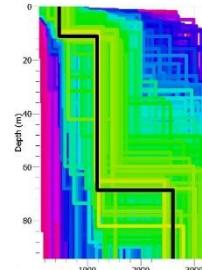
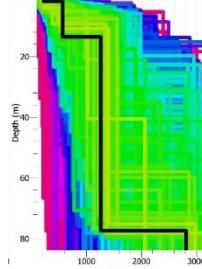
Titik	Formasi	Misfit	Gambar	v_s (m/s)	Kedalaman (m)	Lapisan	
						Jenis	Kecepataan (m/s)
S77	Kebobutak	0,217		151,352	3,831	Sedimen	367,28
				583,201	20,393		
				1337,93	96,324	Bedrock	1337,93
				2604,37	100		
S79	Kebobutak	0,116		220,836	1,375	Sedimen	404,65
				588,469	14,253		
				1128,78	75,111	Bedrock	1128,78
				2775,91	100		
S39	Kebobutak	0,093		66,74	3,017	Sedimen	155,08
				122	20,80		
				200,3	39,73		
				231,303	100		

Titik	Formasi	Misfit	Gambar	v_s (m/s)	Kedalaman (m)	Lapisan	
						Jenis	Kecepataan (m/s)
S93	Kebobutak	0,322		154,308	2,400	Sedimen	339,90
				525,489	20,471		
				1005,16	81,608	Bedrock	1005,16
				2313,27	100		
S95	Kebobutak	0,164		164,612	1,596	Sedimen	352,85
				541,081	14,026		
				1266,02	69,201	Bedrock	1266,02
				2277,91	100		
S97	Kebobutak	0,13		301,656	1,871	Sedimen	427,98
				554,298	13,126		
				1263,72	65,354	Bedrock	1263,72
				2477,41	100		

Titik	Formasi	Misfit	Gambar	v_s (m/s)	Kedalaman (m)	Lapisan	
						Jenis	Kecepataan (m/s)
T1	Andesit	0,178		130,196	2,109	Sedimen	291,49
				452,778	15,130		
				932,041	87,201	Bedrock	932,041
				2046	100		
S21	Kebobutak	0,24		90,62	1,06	Sedimen	245,52
				400,41	7,61		
				1437,25	43,02	Bedrock	1437,25
				2996,32	100		
S41	Kebobutak	0,156		300,55	4,58	Sedimen	464,08
				627,61	15,90		
				1113,97	72,17	Bedrock	1113,97
				2293,51	100		

Titik	Formasi	Misfit	Gambar	v_s (m/s)	Kedalaman (m)	Lapisan	
						Jenis	Kecepataan (m/s)
S1	Aluvium	0,176		147,84	3,502	Sedimen	258,68
				369,51	14,98		
				846,19	75,10	Bedrock	846,19
				1693,41	100		
S19	Aluvium	0,296		125,21	2,78	Sedimen	245,89
				366,56	37,42		
				907,35	100	Bedrock	907,35
S37	Aluvium	0,266		286,473	5,42	Sedimen	286,47
				760,82	48,46		
				2485,67	100	Bedrock	2485,67

Titik	Formasi	Misfit	Gambar	v_s (m/s)	Kedalaman (m)	Lapisan	
						Jenis	Kecepataan (m/s)
S55	Aluvium	0,378		53,57	1,549	Sedimen	289,73
				254,858	13,427		
				560,762	66,657		
				1407,16	100	Bedrock	1407,16
S73	Aluvium	0,334		47,113	1,2447	Sedimen	310,41
				193,608	7,768		
				690,520	59,154		
				1454,72	100	Bedrock	1454,72
S91	Aluvium	0,329		88,035	2,173	Sedimen	222,73
				357,424	98,235		
				1125,18	100	Bedrock	1125,18

Titik	Formasi	Misfit	Gambar	v_s (m/s)	Kedalaman (m)	Lapisan	
						Jenis	Kecepataan (m/s)
S3	Dasit	0,209		142,30	2,98	Sedimen	142,30
				1150,12	47,98	Bedrock	1150,12
				2573,96	100		
S5	Dasit	0,18		472,668	11,11	Sedimen	472,668
				1186,30	68,65	Bedrock	1186,30
				2605,08	100		
S16	Dasit	0,228		219,36	19,09	Sedimen	392,22
				565,07	13,56		
				1262,14	77,38	Bedrock	1261,14
				2816,27	100		

Lampiran 4
Datasheet Mikrozonasi

ID	Longitude	Latitude	Altitude	f_0	A	v_b	K_g	V_s	H
S1	110,023	-7,8236	53,1769	7,027	5,253	846,19	4,71E-04	258,675	9,2029
S3	110,036	-7,8238	56,1478	11,4817	10,6546	1150,12	8,72E-04	142,3	3,09841
S5	110,04	-7,8245	112,09	4,34559	2,97229	1186,3	1,74E-04	472,668	27,1924
S9	110,059	-7,8232	327,16	6,03801	6,54816	1454,62	4,95E-04	280,655	11,6203
S16	110,049	-7,819	136,797	4,88417	5,87789	1262,14	5,68E-04	392,215	20,0758
S19	110,022	-7,8121	37,0718	2,57699	3,48334	907,35	5,26E-04	245,885	23,8539
S21	110,032	-7,8144	45,4775	10,7781	15,5038	1437,25	1,57E-03	245,515	5,69477
S23	110,039	-7,8143	59,4086	17,4365	6,8364	1349,6	2,01E-04	488,03	6,99725
S27	110,059	-7,8136	290,781	7,28934	7,9403	1217,72	7,20E-04	329,48	11,3001
S34	110,05	-7,8103	147,075	9,15974	6,70965	1370,05	3,64E-04	174,93	4,77443
S37	110,023	-7,8048	30,4296	5,25281	6,20205	760,82	9,76E-04	286,473	13,6343
S39	110,034	-7,8053	86,2905	0,7778	1,01674	231,303	5,83E-04	129,68	41,6817
S41	110,042	-7,8051	91,5288	9,202	2,96202	1113,97	8,68E-05	464,08	12,6081
S43	110,051	-7,8029	197,48	5,13893	6,22047	915,59	8,34E-04	319,66	15,5509
S45	110,064	-7,8078	346,922	11,5051	4,3104	1372,76	1,19E-04	367,63	7,98841
S54	110,059	-7,8009	219,191	16,1496	11,7135	1122,93	7,67E-04	400,543	6,2005
S55	110,023	-7,7956	18,9513	5,98294	9,22463	1407,16	1,03E-03	289,73	12,1065

ID	Longitude	Latitude	Altitude	f_0	A	v_b	K_g	V_s	H
S57	110,032	-7,7959	58,592	4,63683	2,90784	1005,91	1,84E-04	302,125	16,2894
S59	110,041	-7,796	103,777	9,07465	2,50703	1120,69	6,27E-05	388,52	10,7034
S63	110,059	-7,7955	214,093	14,2503	13,5457	1040,79	1,25E-03	341,871	5,9976
S73	110,024	-7,7869	18,5216	4,92559	6,94271	1454,72	6,82E-04	310,414	15,7552
S75	110,033	-7,7861	71,4007	7,34952	6,70227	800,343	7,75E-04	332,809	11,3208
S77	110,04	-7,7874	191,205	5,97722	11,2007	1337,93	1,59E-03	367,277	15,3615
S79	110,051	-7,7871	152,597	13,9617	3,63087	1128,78	8,48E-05	404,653	7,24576
S81	110,06	-7,787	164,532	8,76602	5,53333	1245,94	2,84E-04	446,554	12,7354
S91	110,024	-7,7776	24,7211	9,94949	8,26095	1125,18	6,18E-04	222,73	5,59651
S93	110,032	-7,778	32,5627	9,20195	9,5519	1005,16	1,00E-03	339,899	9,23441
S95	110,041	-7,7777	63,5854	11,1289	7,37946	1266,02	3,92E-04	352,847	7,92636
S97	110,051	-7,7778	105,082	4,66999	2,76369	1263,72	1,31E-04	427,977	22,911
S99	110,06	-7,779	110,858	8,61994	7,42457	1333,56	4,86E-04	469,897	13,6282
T1	110,05	-7,7938	235,566	7,14454	3,39998	932,041	1,76E-04	291,487	10,1996
T2	110,052	-7,8269	234,15	7,92738	7,79724	1007,02	7,72E-04	333,905	10,5301

Keterangan *Datasheet*

1. f_0 merupakan nilai frekuensi predominan yang diperoleh dari kurva H/V,
2. A merupakan nilai faktor amplifikasi yang diperoleh dari kurva H/V,
3. v_s merupakan nilai kecepatan gelombang geser di lapisan sedimen yang diperoleh dari hasil *ground profile* pada *Dinver*,
4. v_b merupakan nilai kecepatan gelombang geser di lapisan dasar atau *bedrock* diperoleh dari hasil *ground profile* pada *Dinver*,
5. K_g merupakan nilai indeks kerentanan seismik yang dihitung dari persamaan berikut,

$$K_g = \frac{A^2}{\pi^2 f_0 v_b}$$

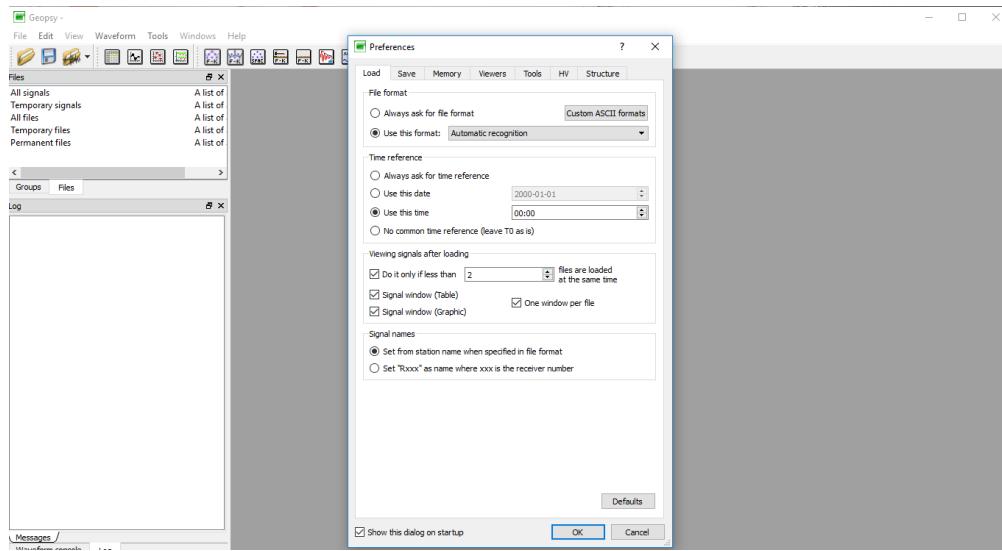
6. H merupakan nilai kedalaman sedimen yang dihitung dari persamaan berikut,

$$H = \frac{v_s}{4f_0}$$

Lampiran 5

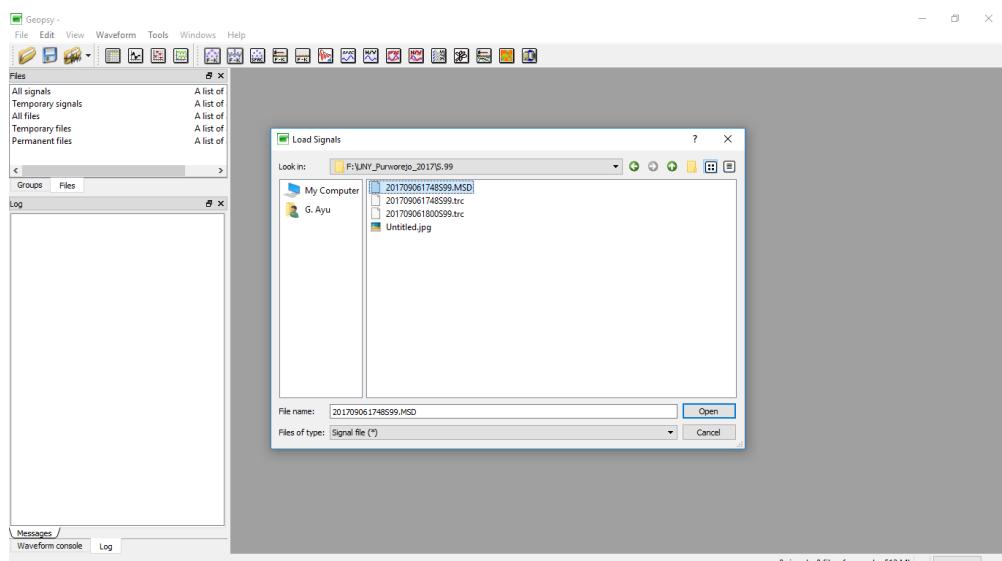
Pengolahan Sinyal Mikrotremor dengan *Geopsy*

1. Membuka software *Geopsy*, sehingga akan muncul tampilan seperti Gambar L1. Kemudian klik *OK* pada jendela *preferences*.



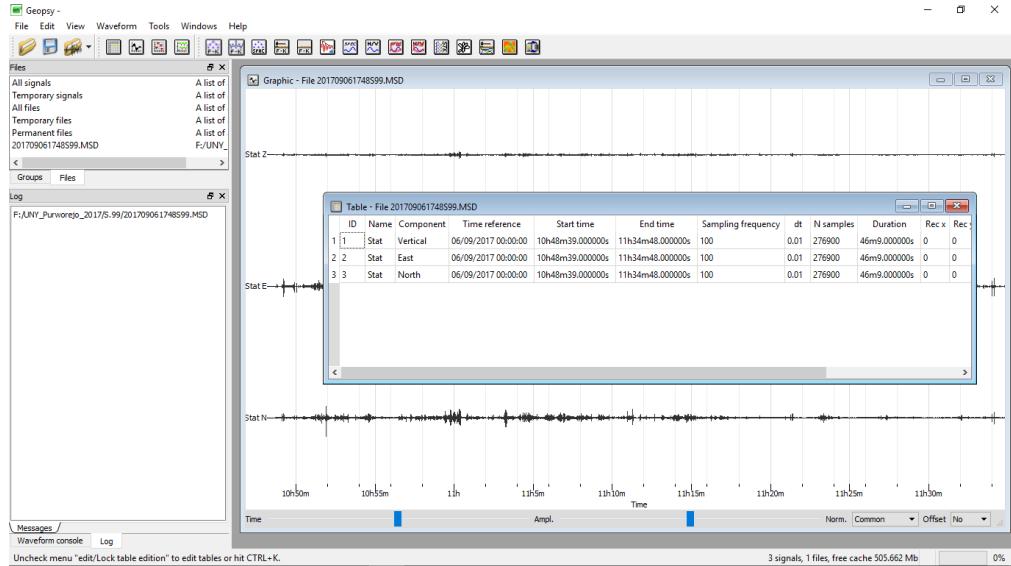
Gambar L1. Tampilan awal *Geopsy*

2. Memasukkan sinyal mikrotremor dengan cara memilih menu *import signal* dan kemudian memilih data yang sudah tersimpan dalam format *.MSD*.



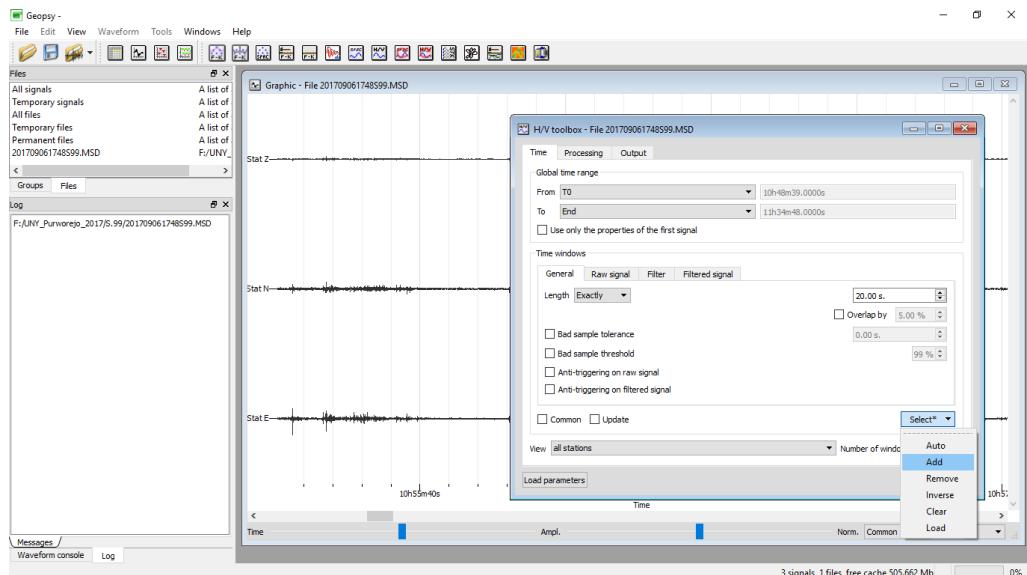
Gambar L2. Tampilan proses *import signal*

3. Data yang telah diimport akan muncul seperti Gambar L3.



Gambar L3. Tampilan sinyal yang telah diimport pada *Geopsy*

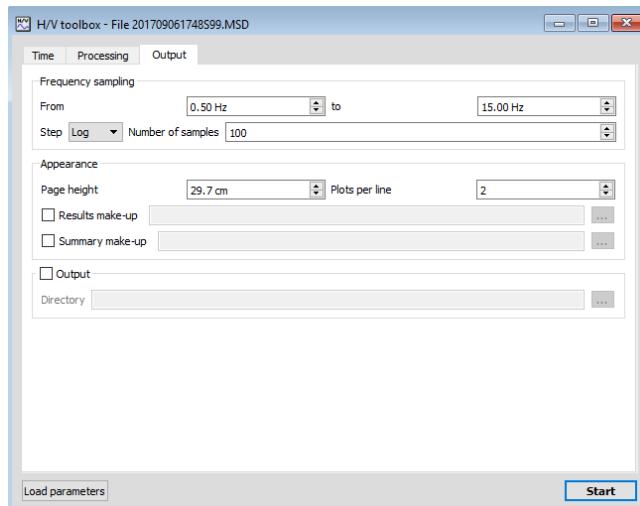
4. Klik ikon H/V pada *toolbar*, sehingga tampilannya seperti Gambar L4. *Length window* dipilih sebesar 20 sekon, kemudian pada pilihan *Start* dipilih *Add* untuk mulai memilih sinyal mikrotremor yang akan diolah menjadi kurva H/V.



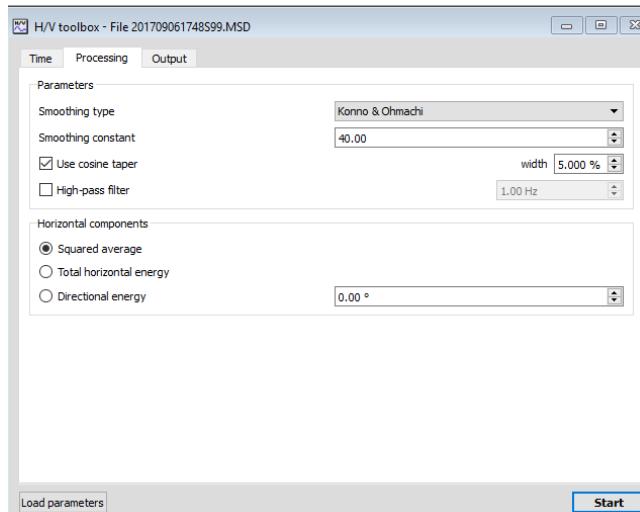
Gambar L4. Tampilan pengaturan dalam *H/V Toolbox*

5. Jumlah sinyal yang dipilih rata-rata sebanyak 10 *window*. Setelah itu kembali ke menu H/V Toolbox, pada bagian *Output* dipilih *frequency sampling* dari 0,5

Hz hingga 15 Hz atau 20 Hz. Sedangkan pada bagian *processing* dipilih Konno Omachi sebesar 40 untuk *smoothing* dan *square average* untuk *horizontal components*.

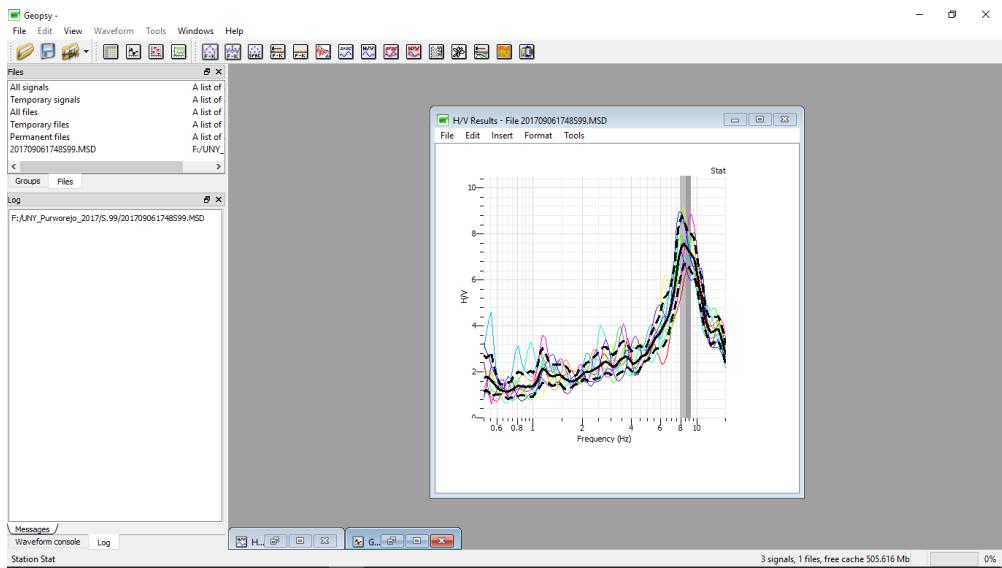


Gambar L5. Tampilan *H/V Toolbox* bagian *Output*



Gambar L6. Tampilan *H/V Toolbox* bagian *Processing*

6. Setelah pengaturan pada *H/V Toolbox* selesai, kemudian pilih *Start*.
7. Maka akan muncul hasil pengolahan sinyal mikrotremor menjadi kurva H/V.



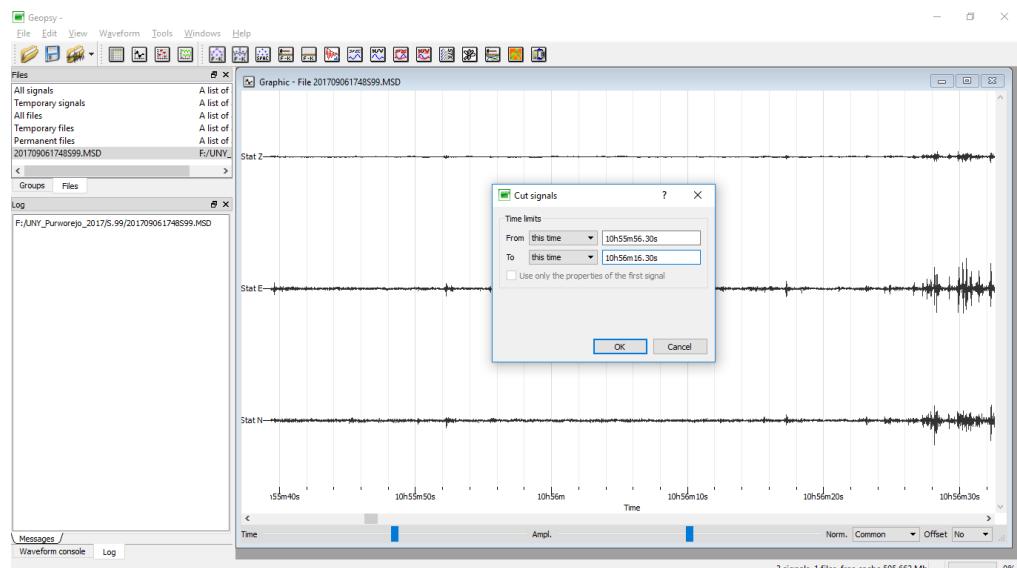
Gambar L7. Tampilan Kurva H/V

8. Kurva H/V kemudian disimpan dengan cara memilih menu *Tools* kemudian memilih pilihan *save result* atau bisa dilakukan dengan klik kanan pada kurva H/V kemudian pilih *Properties*, kemudian *Save Layer*. *File* disimpan dalam format *.hv*.
9. Kurva H/V kemudian juga disimpan dalam bentuk gambar dengan cara memilih menu *File*, kemudian memilih pilihan *export*, dan *file* disimpan dalam format *.png*.

Lampiran 6

Proses *Cutting* Sinyal Mikrotremor dengan *Geopsy* dan *Command Prompt*

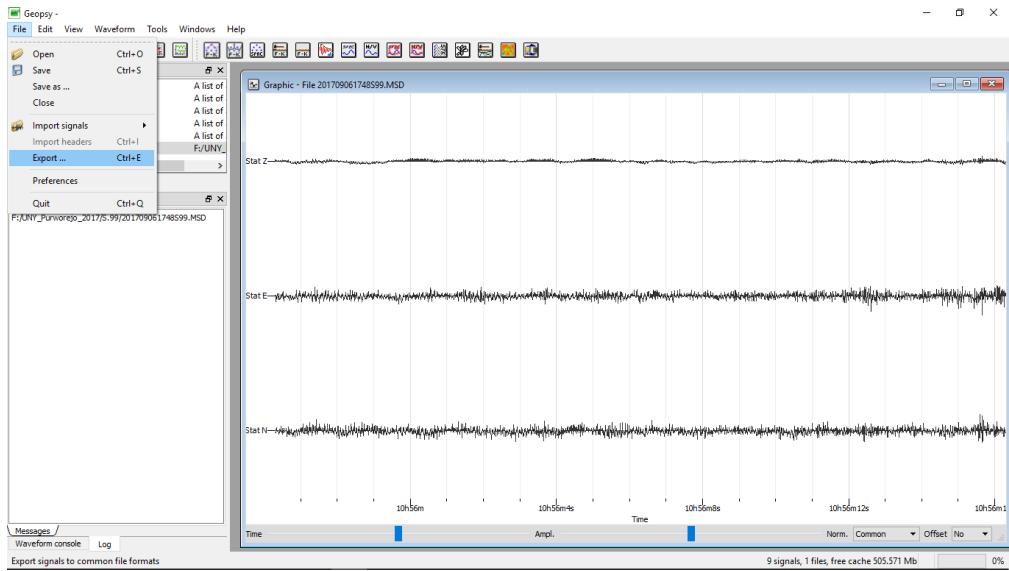
1. Membuka sinyal mikrotremor yang akan *dicutting*.
2. Memilih menu *Waveform*, kemudian pilih pilihan *Cut*, atau dapat dengan menekan tombol Ctrl+Alt+C.
3. Pada jendela *Cut signals*, pilihan pada *time level* dipilih *from this time* dan *to this time* agar bisa diisi batasan waktu yang ingin *dicutting*.



Gambar L8. Tampilan jendela *cut signals*

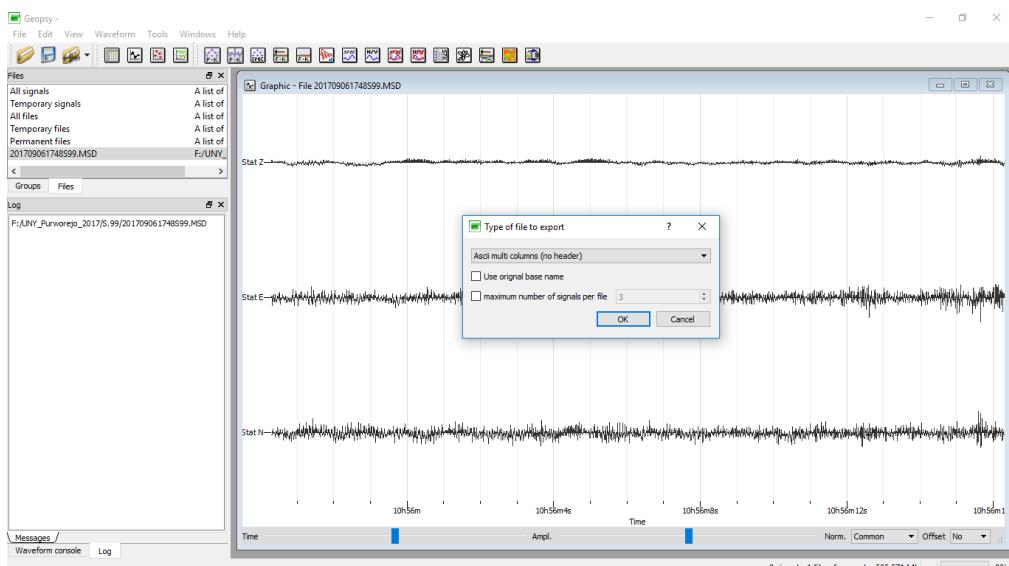
Pengisian waktu tersebut disesuaikan dengan waktu pada sebuah *window* yang dipilih saat melakukan pengolahan kurva H/V. Setelah itu klik *Ok*.

4. Hasil *cutting* akan muncul, dan kemudian simpan hasil *cutting* tersebut dengan cara memilih menu *File* kemudian pilih *Export* atau dapat dilakukan dengan cara menekan tombol Ctrl+E.



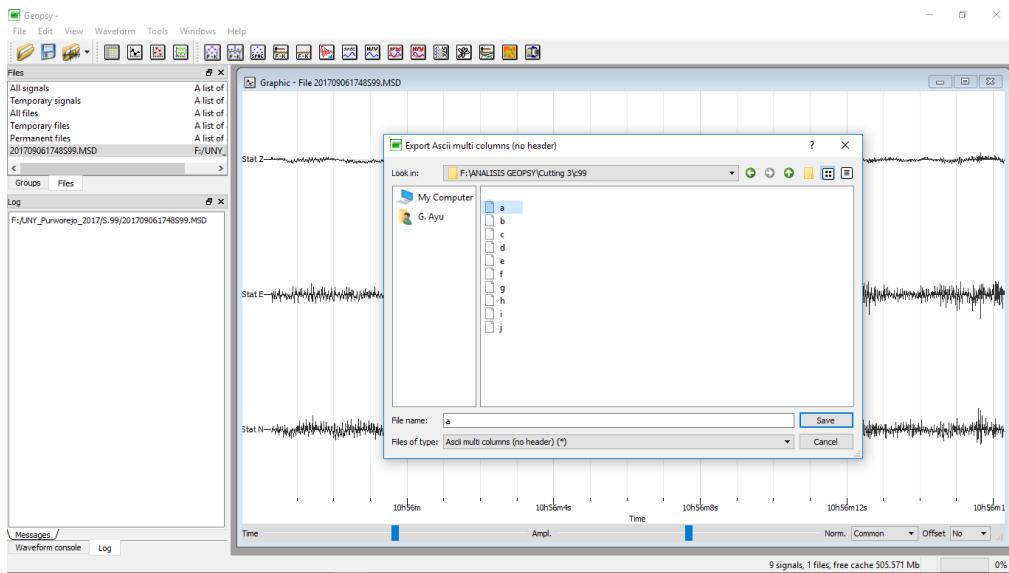
Gambar L9. Tampilan sinyal yang telah dicutting

5. Akan muncul pilihan tipe atau format penyimpanan *file*, dipilih format *Ascii multi coloumns (no header)*, kemudian klik *OK*.



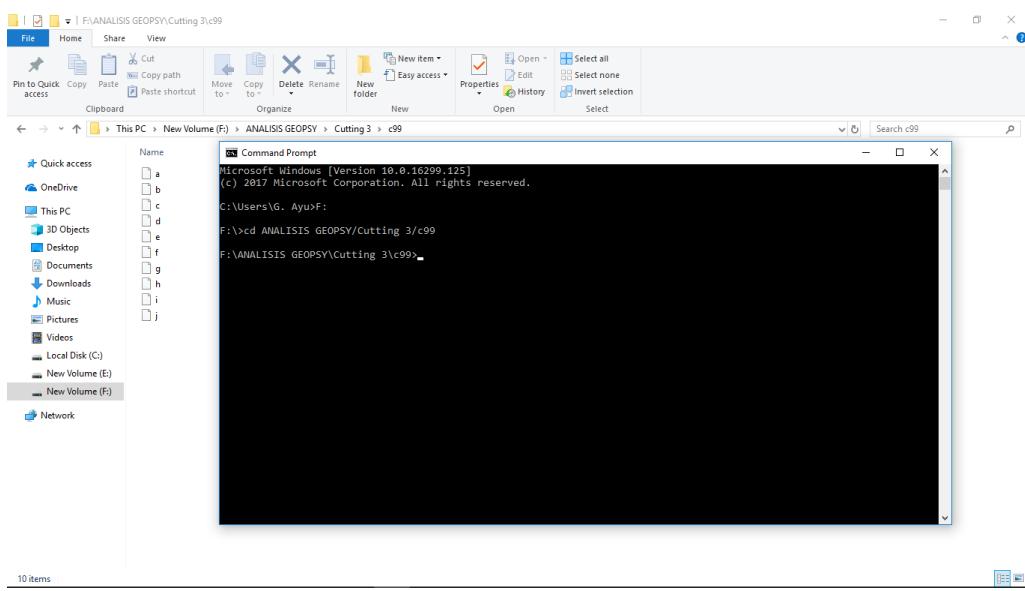
Gambar L10. Tampilan jendela pemilihan tipe penyimpanan file

6. Plilih lokasi dan nama *file* yang akan disimpan, pilih *Save*.
7. Lakukan *cutting* pada semua *window* yang dipilih dalam pengolahan sinyal mikrotremor.



Gambar 11. Tampilan proses penyimpanan hasil *cutting*

8. Setelah proses *cutting* sebuah sinyal mikrotremor dalam Geopsy selesai, maka dilakukan proses penggabungan *file* dengan *Command Prompt*. Buka *Command Prompt* kemudian ubah direktori ke lokasi *file-file* hasil *cutting* tersimpan.



Gambar L12. Tampilan perubahan direktori pada *Command Prompt*

9. Kemudian dituliskan program penggabungan *file* yakni copy/b (spasi) nama *file* pertama+nama *file* kedua+nama *file* ketiga+...+nama *file* terakhir (spasi) nama *file* yang akan disimpan. Hasil gabungan dalam format .xls.

```
F:\>cd ANALISIS GEOPSY\Cutting 3\c99
F:\>ANALISIS GEOPSY\Cutting 3\c99>copy/b a+b+c+d+e+f+g+h+i+j 99.xls
```

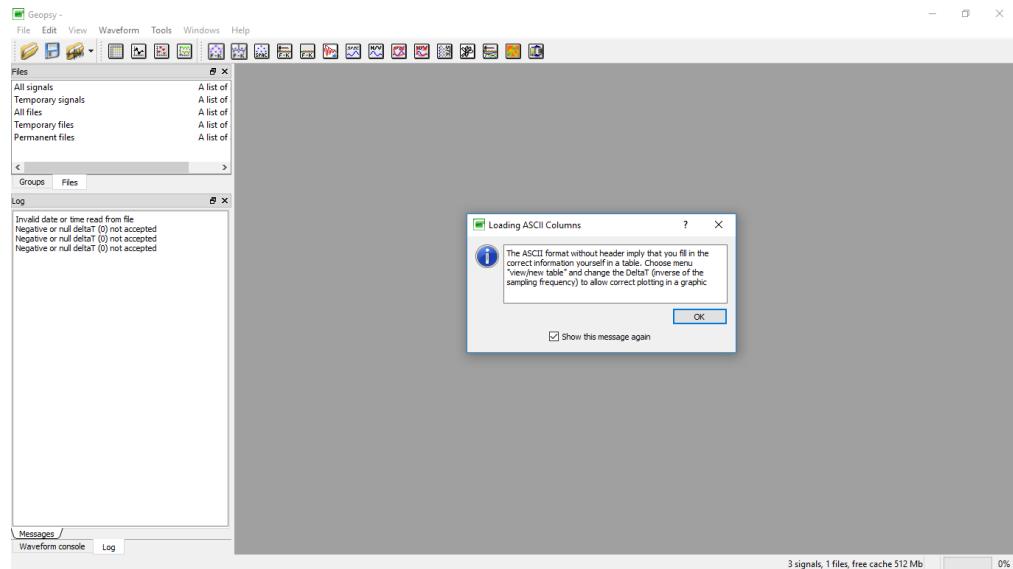
Gambar L13. Tampilan penulisan program penggabungan *file*

10. Setelah selesai, klik *Enter* dan *file* gabungan akan masuk ke direktori yang sama dengan lokasi *file-file* hasil *cutting*.

```
F:\>cd ANALISIS GEOPSY\Cutting 3\c99
F:\>ANALISIS GEOPSY\Cutting 3\c99>copy/b a+b+c+d+e+f+g+h+i+j 99.xls
1 file(s) copied.
```

Gambar L14. Tampilan hasil penggabungan *file*

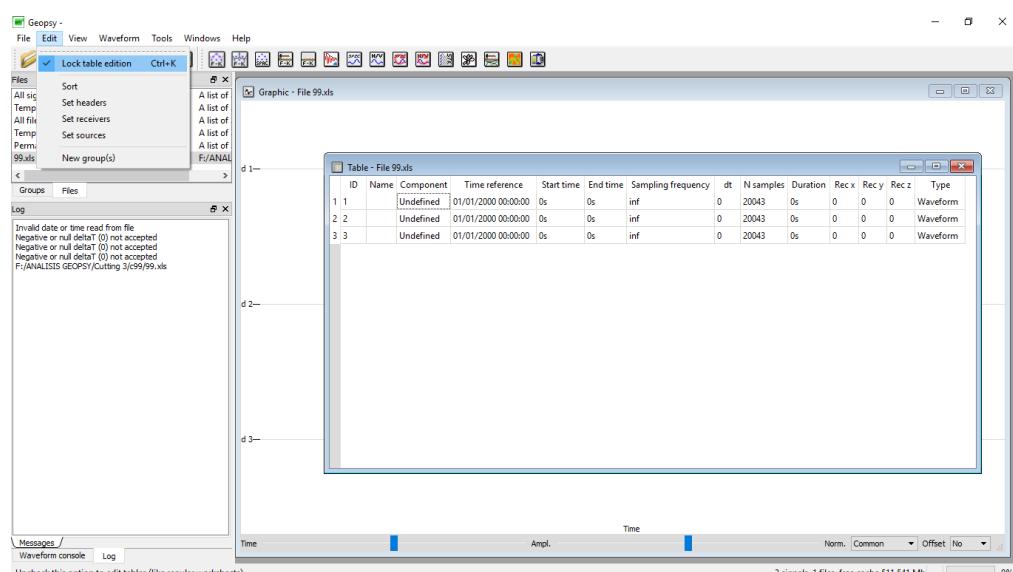
11. Untuk melihat hasil penggabungan sinyal yang telah dicutting, masukkan sinyal yang telah digabung tersebut di Geopsy. Ketika muncul jendela *Loading ASCII Columns*, klik *OK*.



Gambar L15. Tampilan jendela *Loading ASCII Columns*

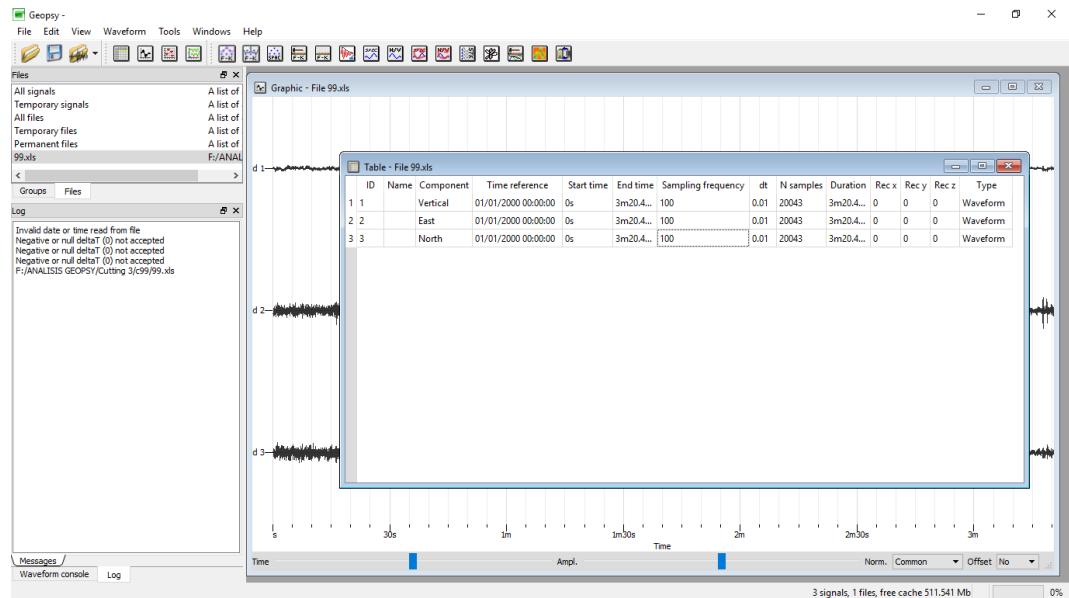
12. Sinyal yang muncul akan kosong, maka pengaturan pada tabel perlu diubah.

Pilih menu *Edit* kemudian hilangkan centang pada *Lock table edition* atau dapat dengan cara mengetik tombol *Ctrl+K*.



Gambar L16. Tampilan sinyal hasil *cutting* yang telah digabung

13. Pada bagian komponen sinyal diisi sesuai dengan urutan sinyal mikrotremor pengukuran, yakni *Vertical*, *East*, kemudian *North*. Selain itu digunakan *sampling frequency* sebesar 100.



Gambar L17. Tampilan pengisian tabel sinyal yang telah dimasukkan

14. *File* yang telah dicutting kemudian dibuka di Ms.Excel untuk dilakukan pengecekan sinyal mikrotremor. Sinyal mikrotremor terdiri dari tiga komponen, yaitu vertikal (V), barat-timur (E), dan utara-selatan (N). Setiap komponen dicari nilai maksimumnya, kemudian setiap nilai maksimum dikalikan dengan nilai 0,003. Apabila sinyal mikrotremor tidak bernilai < 10, maka dilakukan pengulangan proses *windowing* dan *cutting*.

Simpangan Cutting3.xlsx - Excel

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

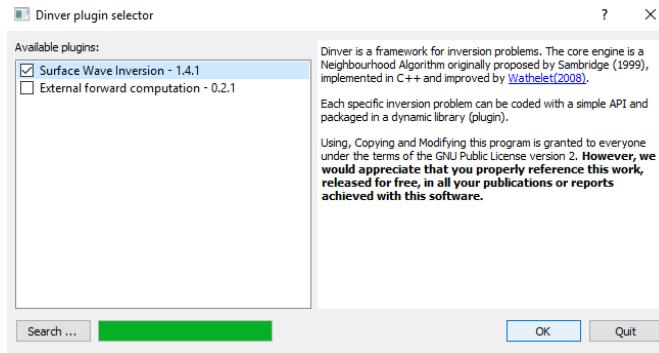
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Sinyal Mikrotremor			Nilai Maksimal			(Nilai Maksimal x 0.008) < 10							
2	V	E	N	Puncak	138	569	516		V	E	N			
3	6	-105	25	Lembah	-150	-564	-612		0.414	1.707	1.548			
4	39	24	-101						0.45	1.692	1.836			
5	36	27	-47											
6	3	-168	2											
7	-7	-105	41											
8	-1	-19	45											
9	15	-85	87											
									sudah mikrotremor					

Gambar 12. Tampilan Pengecekan Sinyal Mikrotremor

Lampiran 7

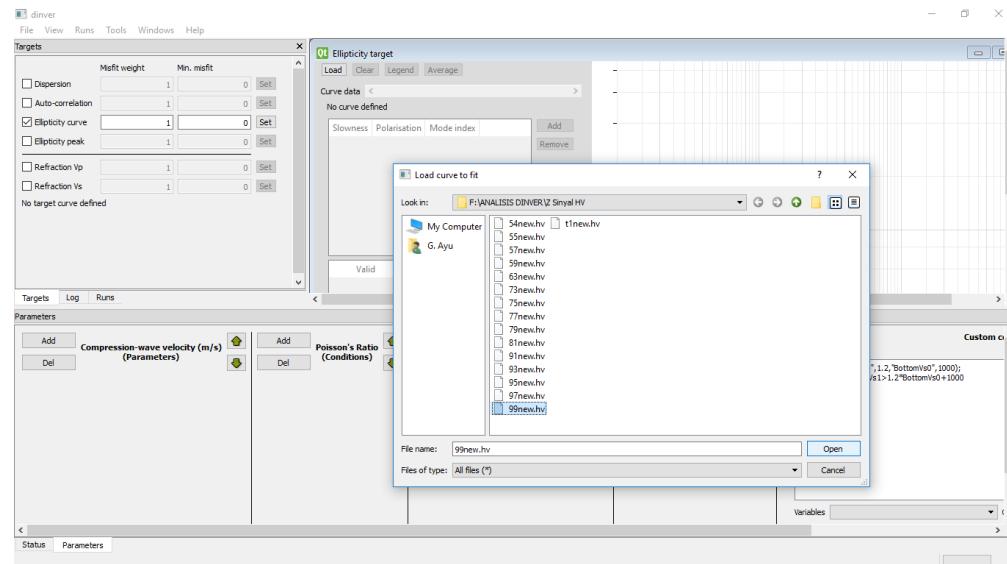
Pengolahan Kurva H/V untuk menentukan Litologi Bawah Permukaan dengan Program *Dinver*

1. Buka program *Dinver*, kemudian akan muncul jendela *Dinver plugin selector*, kemudian pilih *Surface Wave Inversion* dan klik OK.



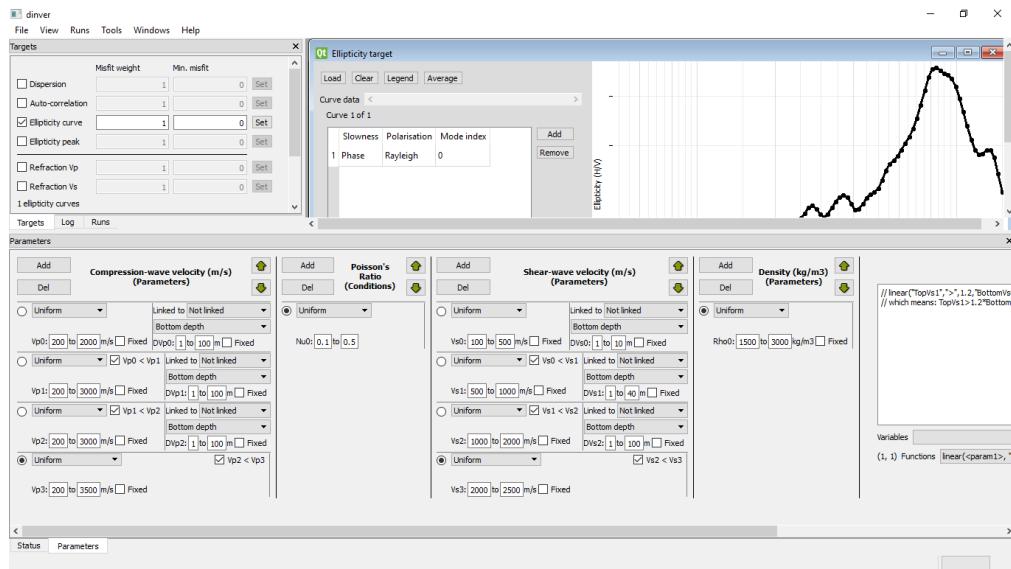
Gambar L19. Tampilan *dinver plugin selector*

2. Dipilih metode pengolahan *Ellipticity curve* dan akan muncul jendela *Ellipticity target*. Setelah itu pilih *Load* untuk memasukkan Kurva H/V yang akan diolah, klik *Open*, kemudian *OK*.



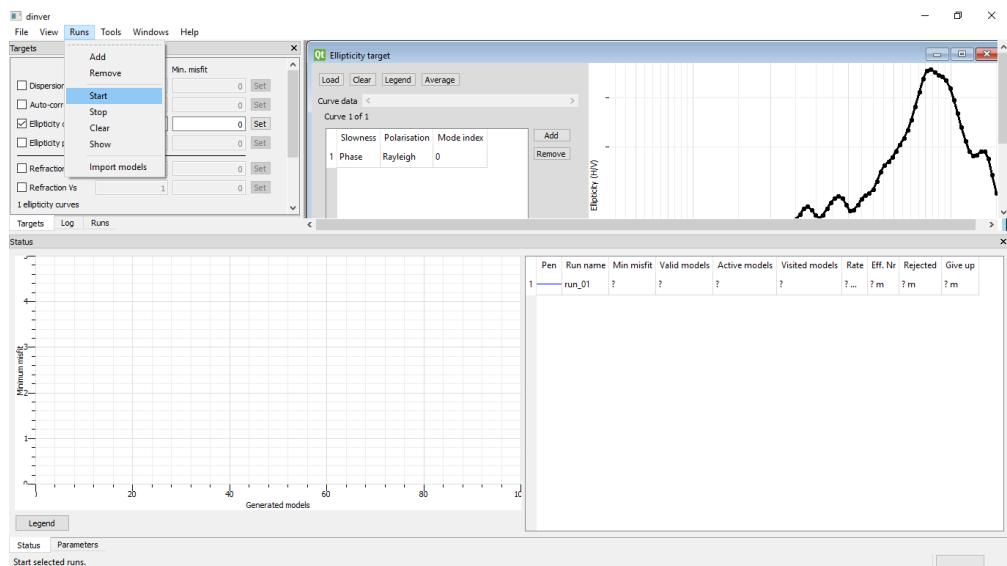
3. Setelah kurva H/V berhasil diinput, kemudian dilakukan pengisian parameter-parameter seperti nilai *Compression-wave velocity* (V_p), *Shear-wave velocity*

(V_s) , Poisson's ratio, dan Density. Pengisian parameter harus disesuaikan dengan konsisi geologi di lokasi penelitian.



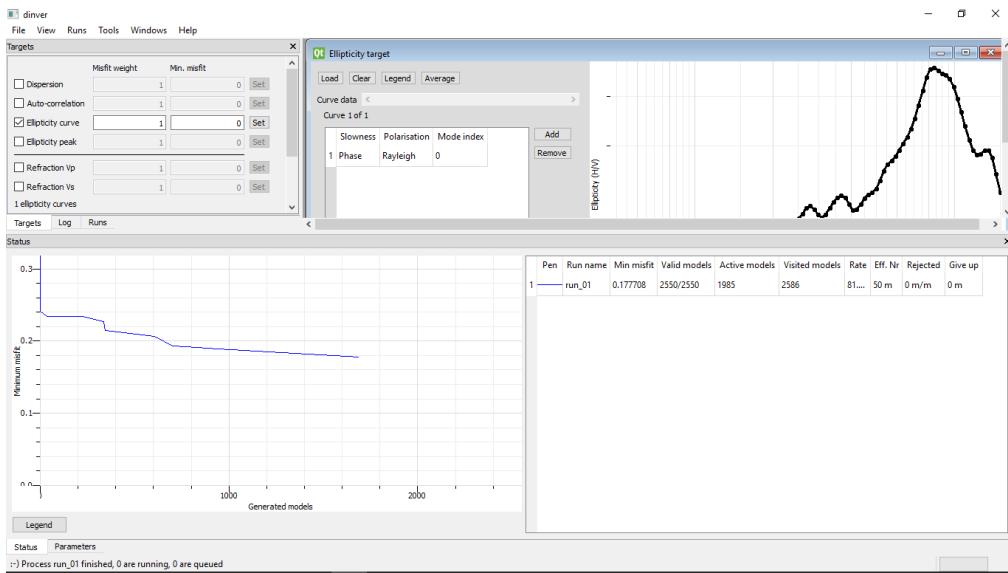
Gambar 21. Tampilan pengisian parameter

4. Pilih menu *Runs* kemudian pilih *Add* untuk memulai inversi.
5. Kemudian buka jendela *Status* untuk melihat proses *running*. Setelah itu pilih kembali menu *Runs* dan pilih *Start*.



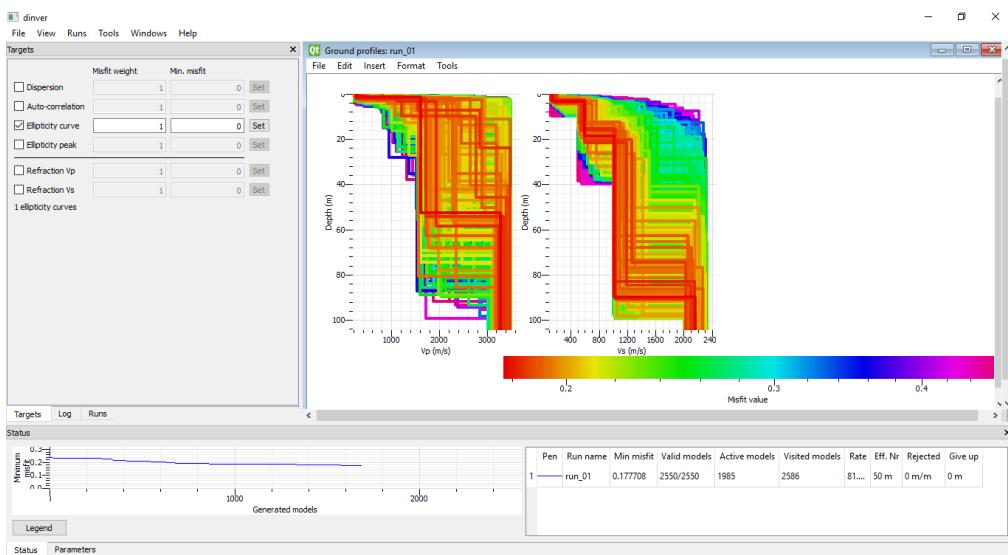
Gambar L22. Tampilan jendela *Status*

6. Tunggu hingga proses *running* selesai, sehingga akan diperoleh grafik perolehan nilai *misfit* akhir.



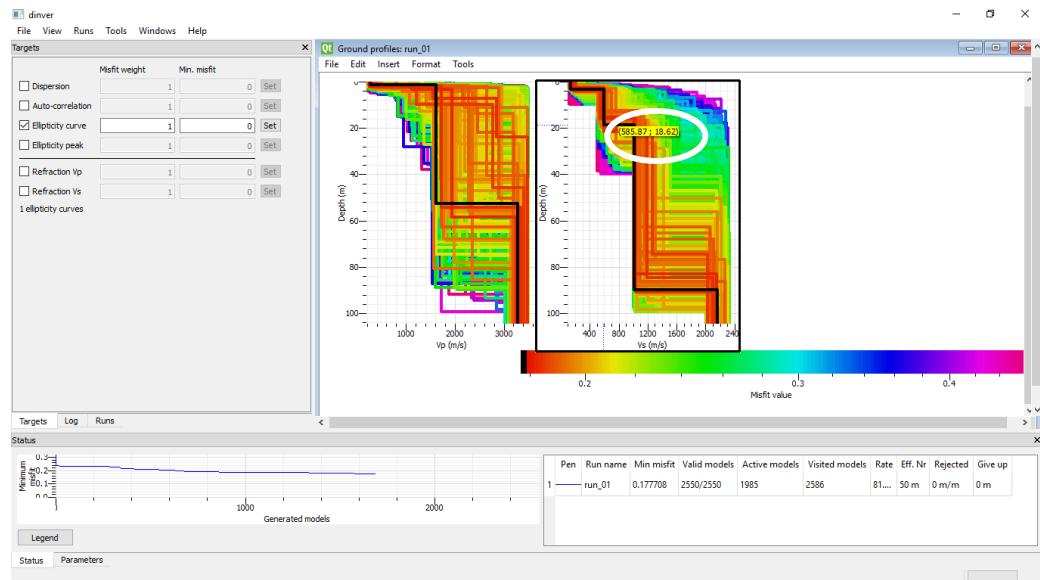
Gambar L23. Tampilan proses *running*

7. Pilih menu *View*, kemudian pilih pilihan *Ground profiles* dan akan muncul jendela *Ground profile viewer*. Pilih *misfit* maksimal sebesar 1 dan maksimal profil yang ditampilkan adalah 2, yakni untuk V_p dan V_s .



Gambar L24. Tampilan *ground profiles*

8. Melalui *Ground profiles*, dapat diketahui jumlah lapisan permukaan tanah serta masing-masing nilai V_s dan kedalamannya.



Gambar L25. Tampilan pembacaan *ground profiles*

Lampiran 8

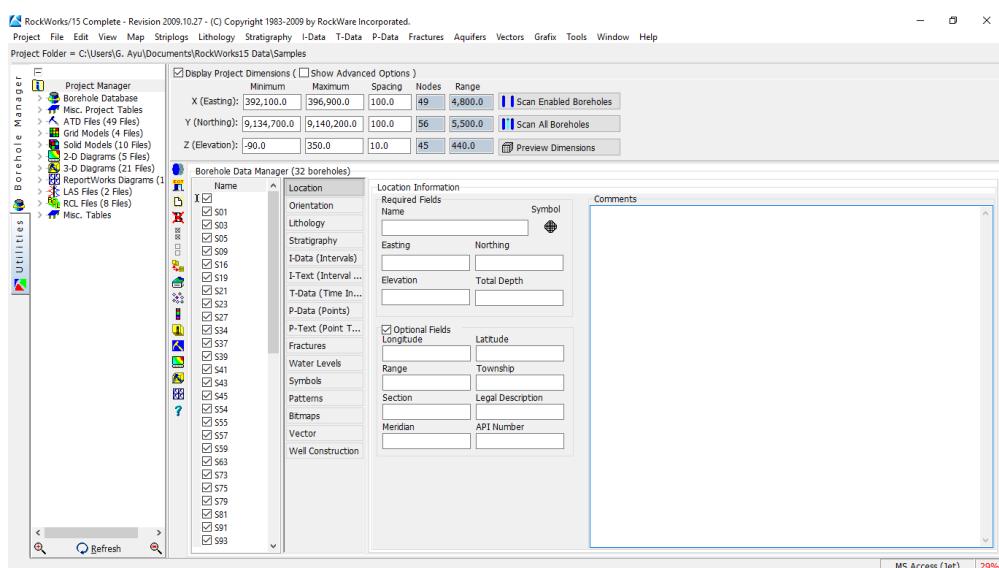
Proses Pemodelan 3D Lapisan Sediemen

1. Membuat *datasheet* di *Microsoft Excel* untuk memudahkan pengisian data di *Rockworks 15*.

	ID	H0	H1	FORMASI
1				
2	S1	0	14.98	SEDIMENT
3		14.98	100	BEDROCK
4	S3	0	2.98	SEDIMENT
5		2.98	100	BEDROCK
6	S5	0	11.11	SEDIMENT
7		11.11	100	BEDROCK
8	S9	0	18.09	SEDIMENT
9		18.09	100	BEDROCK
10	S16	0	13.56	SEDIMENT
11		13.56	100	BEDROCK
12	S19	0	37.42	SEDIMENT
13		37.42	100	BEDROCK
14	S21	0	7.61	SEDIMENT
15		7.61	100	BEDROCK
16	S23	0	8.92	SEDIMENT
17		8.92	100	BEDROCK
18	S27	0	57.4	SEDIMENT
19		57.4	100	BEDROCK
20	S34	0	3.98	SEDIMENT
21		3.98	100	BEDROCK
22	S37	0	6.42	SEDIMENT
23		6.42	100	BEDROCK

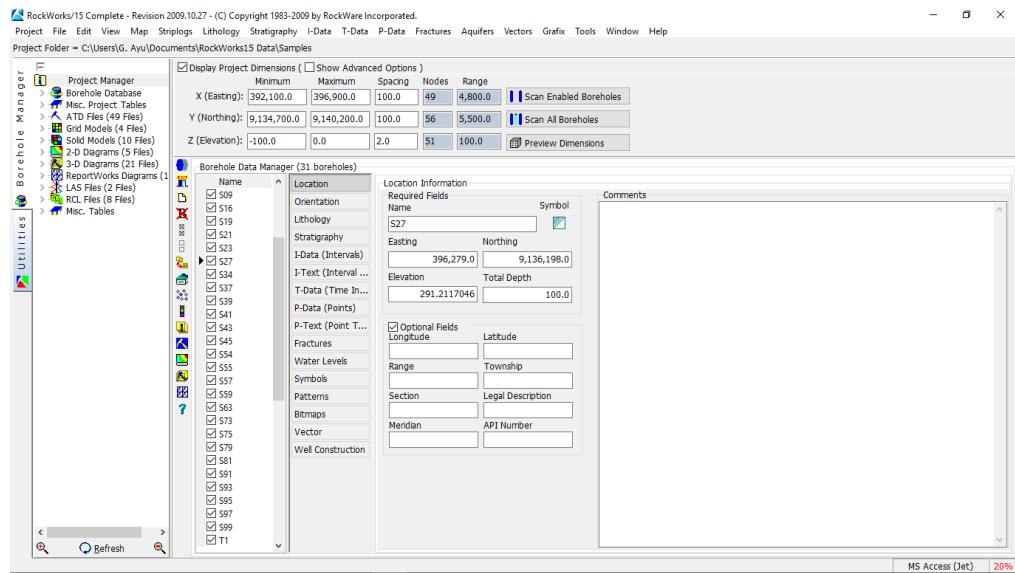
Gambar L26. *Datasheet* Pemodelan 3D Lapisan Sedimen

2. Membuka software Rockworks 15 dan memilih halaman *Boreholes* sehingga akan muncul tampilan seperti Gambar L27.



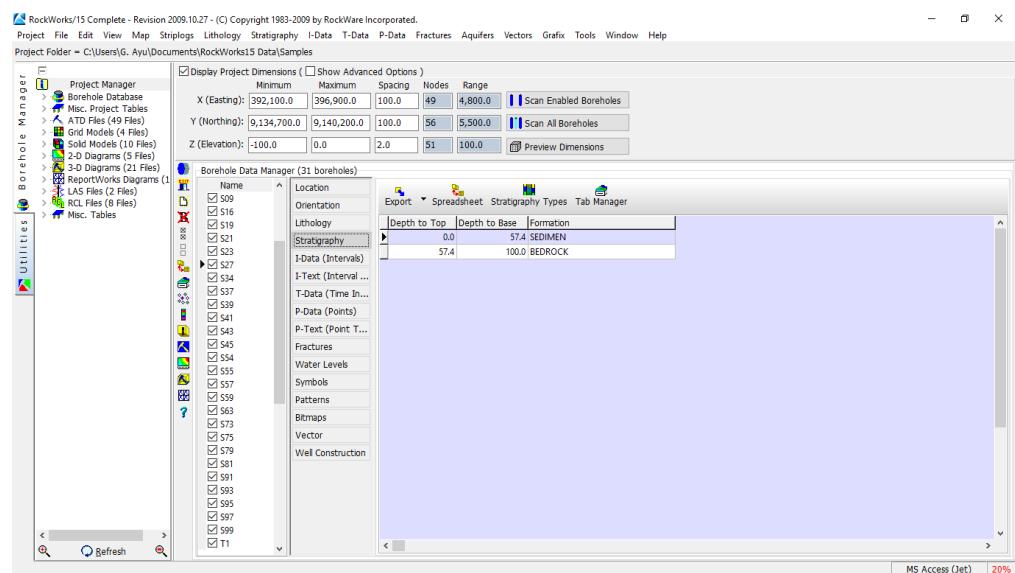
Gambar L27. Tampilan menu *Boreholes* di software *Rockworks 15*

3. Mengisi data lokasi di kolom *borehole*.

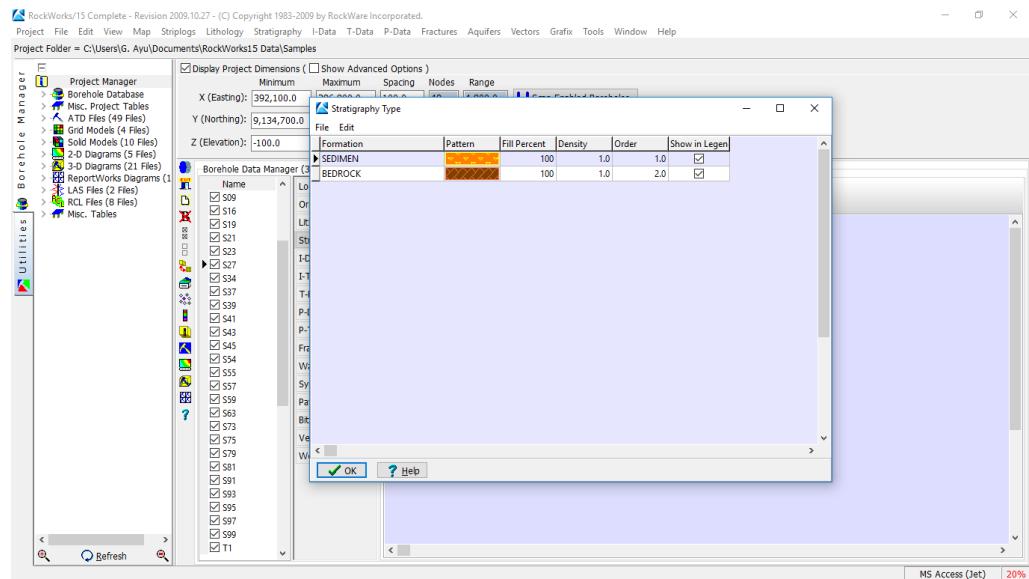


Gambar L28. Tampilan pengisian kolom *borehole* untuk data lokasi

- Mengisi data stratigrafi di kolom *borehole*. Dipilih dua jenis lapisan, yakni sedimen dan *bedrock* dengan cara membuka pengaturan pada *Stratigraphy Types*.

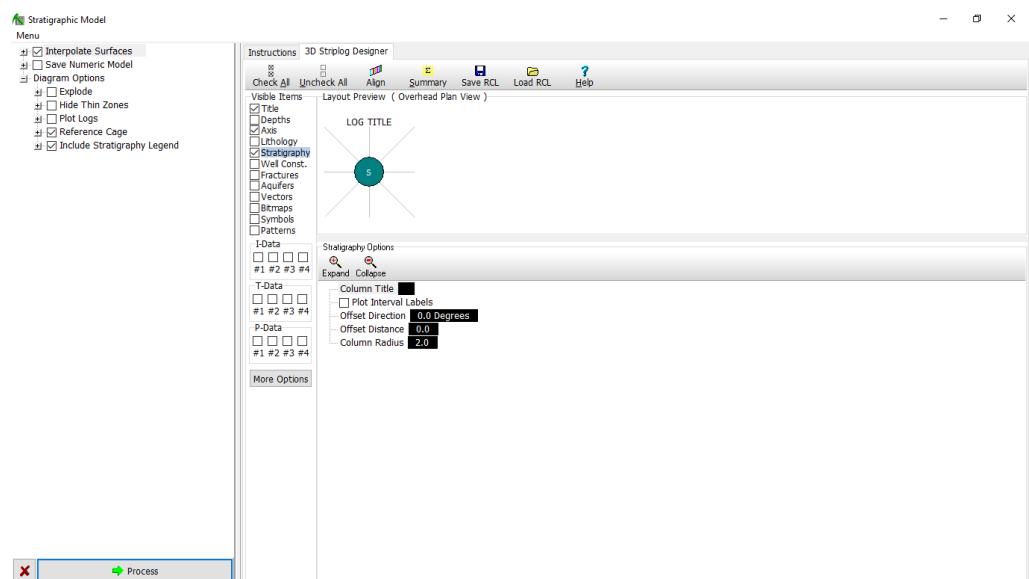


Gambar L29. Tampilan pengisian kolom *borehole* untuk data stratigrafi



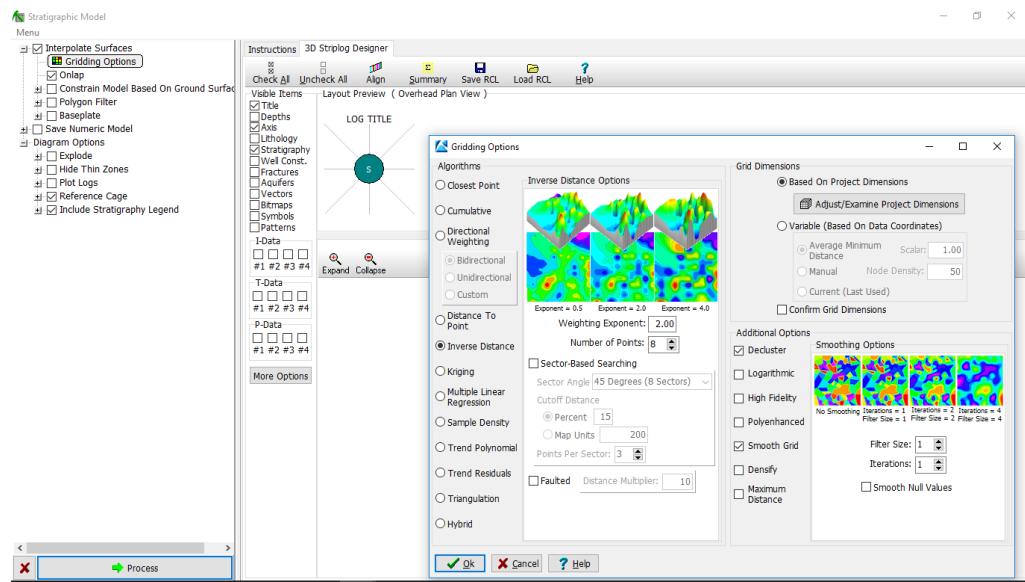
Gambar L30. Tampilan pengaturan di *Stratigraphy Types*

5. Melakukan pengisian data lokasi dan stratigrafi di kolom *borehole* untuk semua titik pengukuran. Setelah seluruh *borehole* terisi, kemudian memilih *Scan Enabled Boreholes*.
6. Memodelkan secara 3D dengan memilih menu *Stratigraphy*, kemudian pilih *Model*, kemudian akan muncul tampilan seperti yang ditunjukkan Gambar L31.



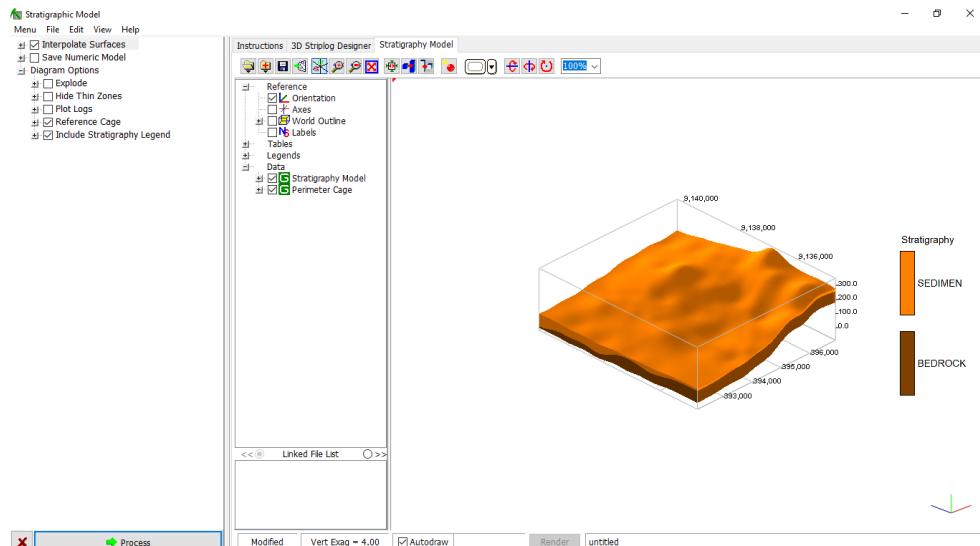
Gambar L31. Tampilan menu *Stratigraphic Model*

Pemodelan dipilih pengaturan standar, yakni *Interpolate Surfaces* dan *Gridding* seperti yang ditunjukkan pada Gambar L32.



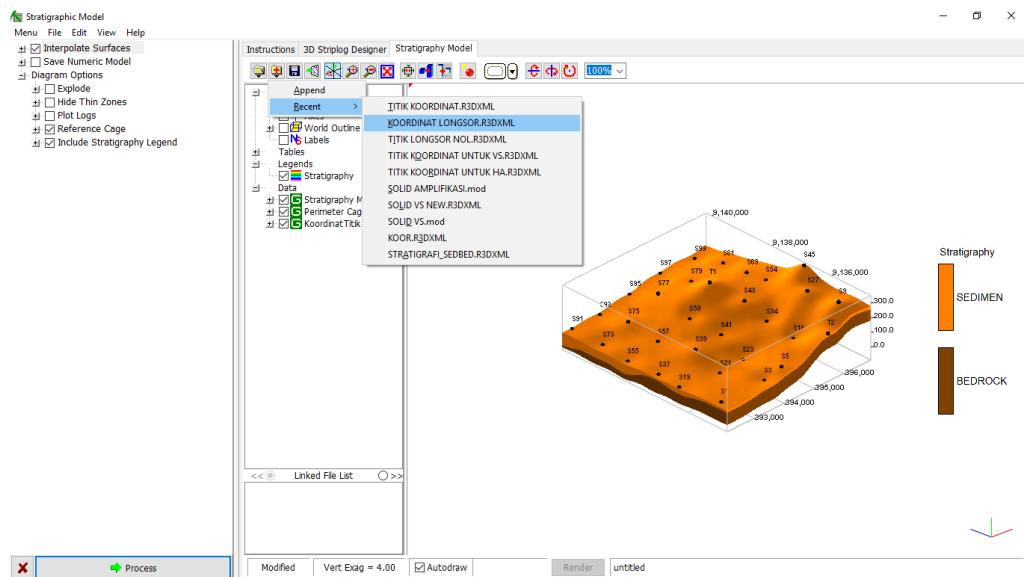
Gambar L32. Tampilan pengaturan *Gridding* pada *Interpolate Surfaces*

7. Setelah itu dipilih *Process* dan akan muncul tampilan seperti Gambar L33.



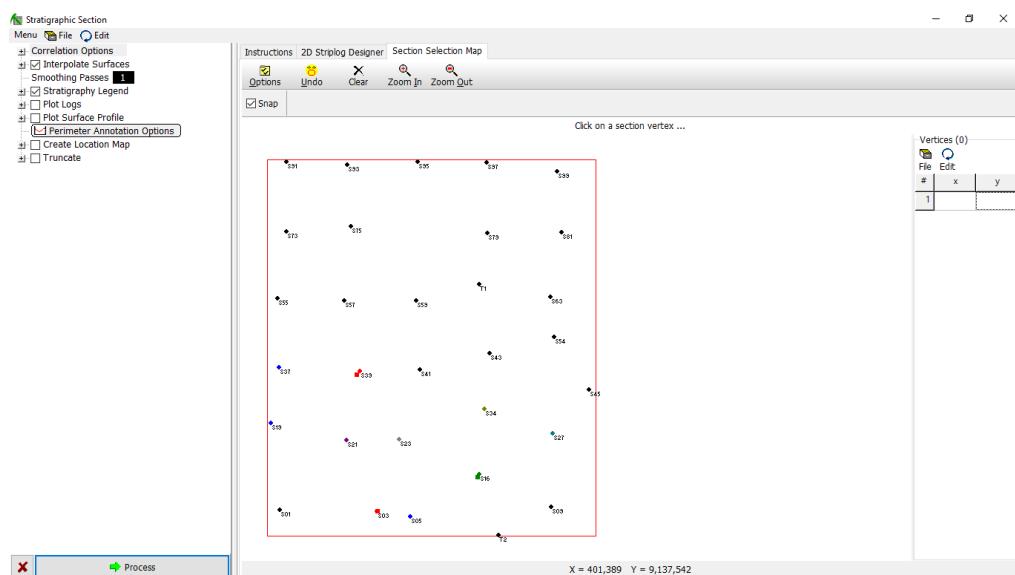
Gambar L33. Tampilan hasil pemodelan 3D lapisan sedimen dan *bedrock*

8. Memasukkan titik lokasi penelitian dan titik longsor dengan cara mengklik ikon *append to current scene*, kemudian pilih *Recent* dan pilih *file* titik koordinat dengan format *.R3DXML*.



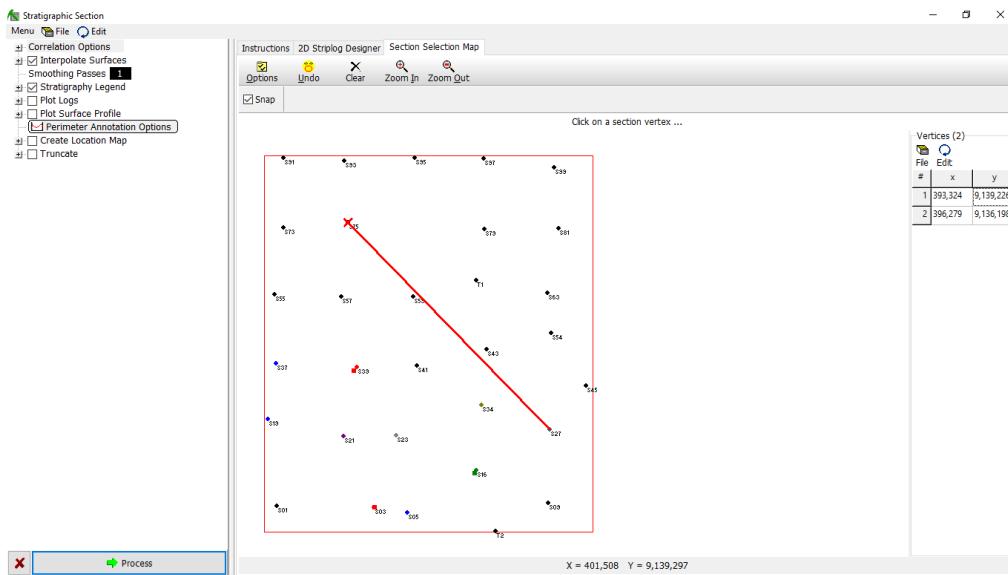
Gambar L34. Tampilan memasukkan titik koordinat pada model 3D

9. Melakukan sayatan hasil pemodelan 3D dengan cara memilih menu *Stratigraphy*, kemudian pilih *Section – Modeled* sehingga akan muncul tampilan seperti pada Gambar L35.



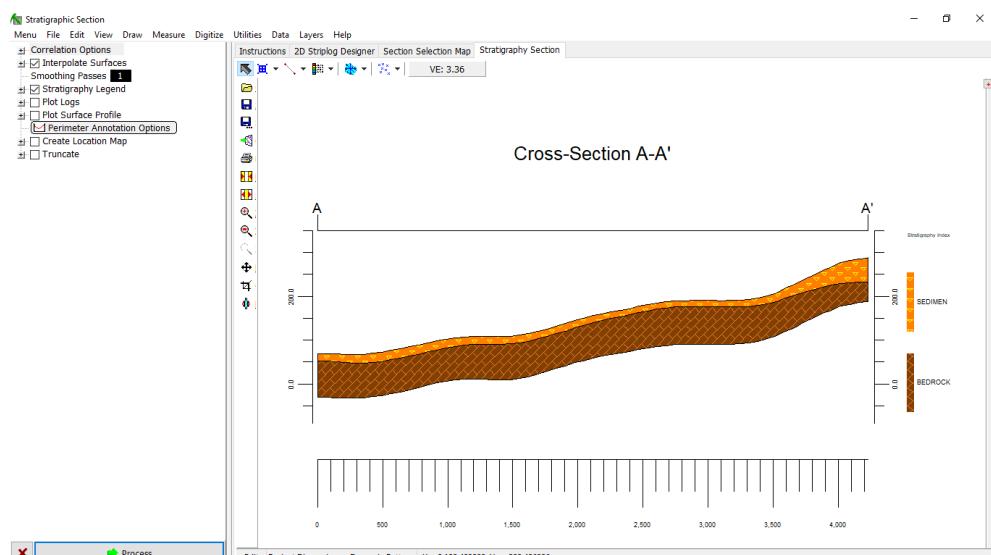
Gambar L35. Tampilan *Stratigraphic Section*

10. Memilih garis sayatan dengan cara memasukkan titik awal dan titik akhir sayatan di tabel *Vertices*. Pemilihan sayatan disesuaikan dengan titik lokasi longsor yang ada di Kecamatan Bagelen.



Gambar L36. Tampilan garis sayatan pada *Stratigraphic Section*

11. Kemudian pilih *process*.

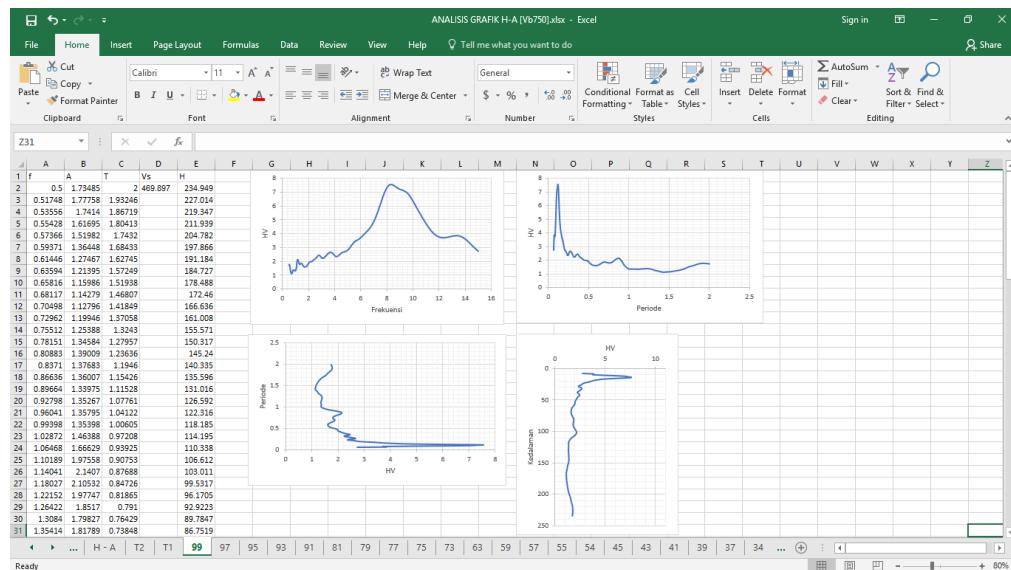


Gambar L37. Tampilan *Cross-Section* dari *Stratigraphic Model*

Lampiran 9

Proses Pemodelan 3D Nilai Faktor Amplifikasi terhadap Kedalaman

1. Membuka file kurva H/V yang berformat .hv di Microsoft Excel.
2. Mengubah kurva H/V semua titik pengukuran menjadi kurva nilai amplifikasi terhadap kedalaman seperti yang ditunjukkan pada Gambar L38. Data kurva H/V adalah frekuensi dan amplifikasi dengan jumlah 100 data setiap kurva. Nilai kedalaman amplifikasi diperoleh dari perhitungan persamaan $H = V_s/4f_0$.



Gambar L38. Tampilan pengubahan kurva H/V menjadi kurva amplifikasi terhadap kedalaman

3. Membuat *datasheet* nilai amplifikasi terhadap kedalaman di *Microsoft Excel*.

ID	Easting	Northing	Kedalaman	Amplifikasi	ID	Easting	Northing	Kedalaman	Amplifikasi
1	932286	9135081	-129.3275	1.53972	53	393704	9135062	-71.35	2.92419
2	51					393704	9135062	-68.74715	2.7521
3	392286	9135081	-124.96856	1.64433		393704	9135062	-66.425425	2.4196
4						393704	9135062	-64.182015	2.08893
5	392286	9135081	-120.7491	1.7308		393704	9135062	-62.014517	2.27448
6	392286	9135081	-116.671	1.83005		393704	9135062	-59.920129	2.39803
7	392286	9135081	-108.92368	2.12558		393704	9135062	-58.896553	2.48905
8	392286	9135081	-105.24519	2.19132		393704	9135062	-55.941252	2.4839
9	392286	9135081	-101.00082	2.13571		393704	9135062	-54.05196	2.42762
10	392286	9135081	-98.256435	2.00445		393704	9135062	-52.226547	2.42319
11	392286	9135081	-94.938172	1.9272		393704	9135062	-50.462711	2.38067
12	392286	9135081	-91.731846	1.81511		393704	9135062	-48.758525	2.32584
13	392286	9135081	-88.639593	1.66884		393704	9135062	-47.111842	2.19396
14	392286	9135081	-85.640589	1.51243		393704	9135062	-45.520734	2.14073
15	392286	9135081	-82.74825	1.61974		393704	9135062	-43.983446	2.0575
16	392286	9135081	-79.957478	1.74429		393704	9135062	-41.49801	1.98917
17	392286	9135081	-77.2353	1.97605		393704	9135062	-39.48801	1.89867
18	392286	9135081	-74.64446	2.09666		393704	9135062	-37.062749	1.80191
19	392286	9135081	-72.12538	2.11355		393704	9135062	-36.67599	2.06688
20	392286	9135081	-69.687805	1.90552		393704	9135062	-38.336038	2.20608
21	392286	9135081	-67.334313	1.6443		393704	9135062	-37.041356	2.29446
22	392286	9135081	-65.060283	1.47079		393704	9135062	-35.790387	2.2739
23	392286	9135081	-62.863316	1.4697		393704	9135062	-34.58181	2.24938
24	392286	9135081	-60.740082	1.5626		393704	9135062	-33.41379	2.21886
25	392286	9135081	-58.688934	1.75375		393704	9135062	-32.285437	2.15393

Gambar L39. *Datasheet* amplifikasi terhadap kedalaman

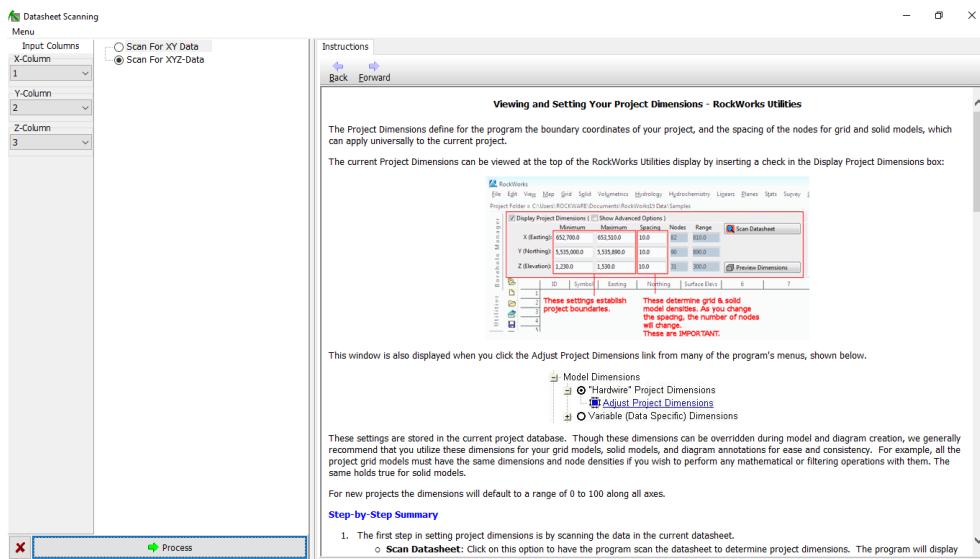
4. Membuka *software Rockworks 15* dan memilih menu *Utilities*.

5. Mengisi kolom *Utilities* dengan ketentuan kolom 1 adalah koordinat *easting*, kolom 2 adalah koordinat *northing*, kolom 3 adalah nilai kedalaman amplifikasi, dan kolom 4 adalah nilai amplifikasi.

Row#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	392286	9135081	-129.3275	1.53972												
2	392286	9135081	-124.96856	1.64433												
3	392286	9135081	-120.7491	1.7308												
4	392286	9135081	-116.671	1.83005												
5	392286	9135081	-113.7089	1.9595												
6	392286	9135081	-108.92368	2.12558												
7	392286	9135081	-105.24519	2.19132												
8	392286	9135081	-101.00082	2.13571												
9	392286	9135081	-98.256435	2.00445												
10	392286	9135081	-94.938172	1.9272												
11	392286	9135081	-91.731846	1.81511												
12	392286	9135081	-88.639593	1.66884												
13	392286	9135081	-85.640589	1.51243												
14	392286	9135081	-82.74825	1.61974												
15	392286	9135081	-79.957478	1.74429												
16	392286	9135081	-77.2353	1.97605												
17	392286	9135081	-74.64446	2.09666												
18	392286	9135081	-72.12538	2.11355												
19	392286	9135081	-69.687805	1.90552												
20	392286	9135081	-67.334313	1.6443												
21	392286	9135081	-65.060283	1.47079												
22	392286	9135081	-62.863316	1.4697												
23	392286	9135081	-60.740082	1.5626												
24	392286	9135081	-58.688934	1.75375												
25	392286	9135081	-56.70657921	2.01994												

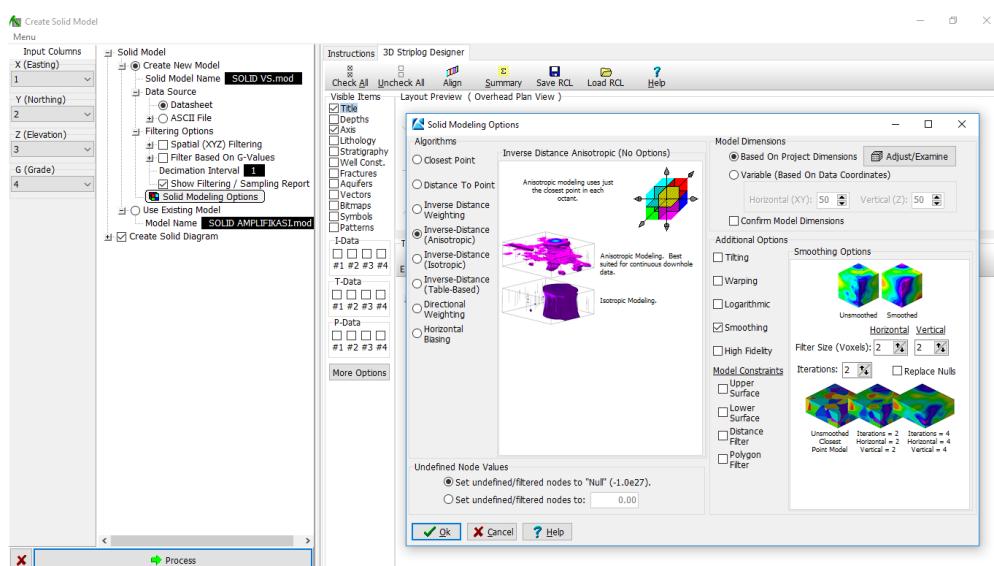
Gambar L40. Tampilan menu *Utilities* pada *Rockworks 15*

6. Pilih *Scan Datasheet*, kemudian bagian *input column* dipilih sesuai dengan kolom yang dimasukkan, dan pilih *scanning* untuk kolom XYZ.



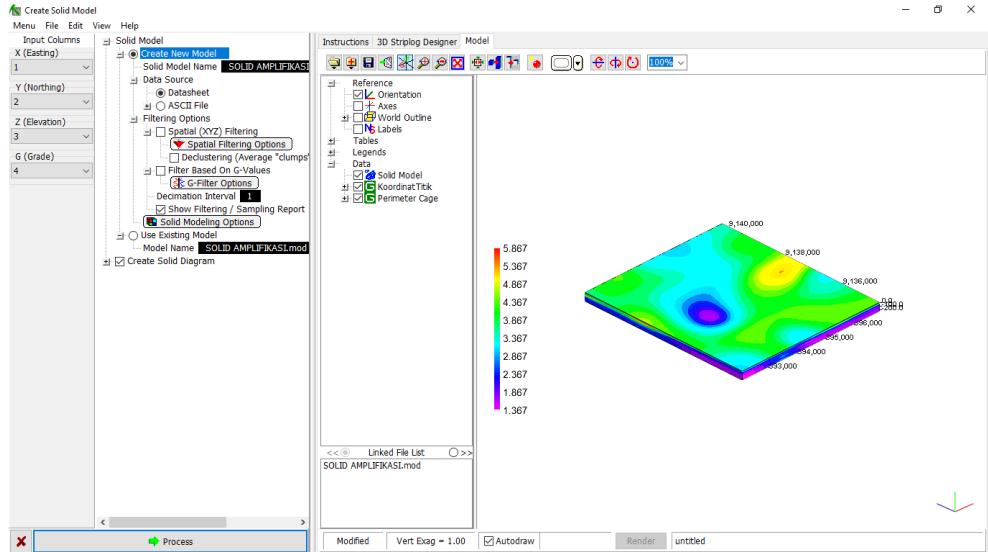
Gambar L41. Tampilan *Scan Datasheet*

7. Kembali ke halaman *Utilities*, pilih *Solid- Model*. Kemudian muncul pengaturan proses pembuatan *solid model*. Pada bagian *input column* disesuaikan pada kolom *utilities*. Pilih *create new model* dan beri nama pemodelan dengan format *.mod*. Pengaturan *solid model* ditunjukkan pada Gambar L42.



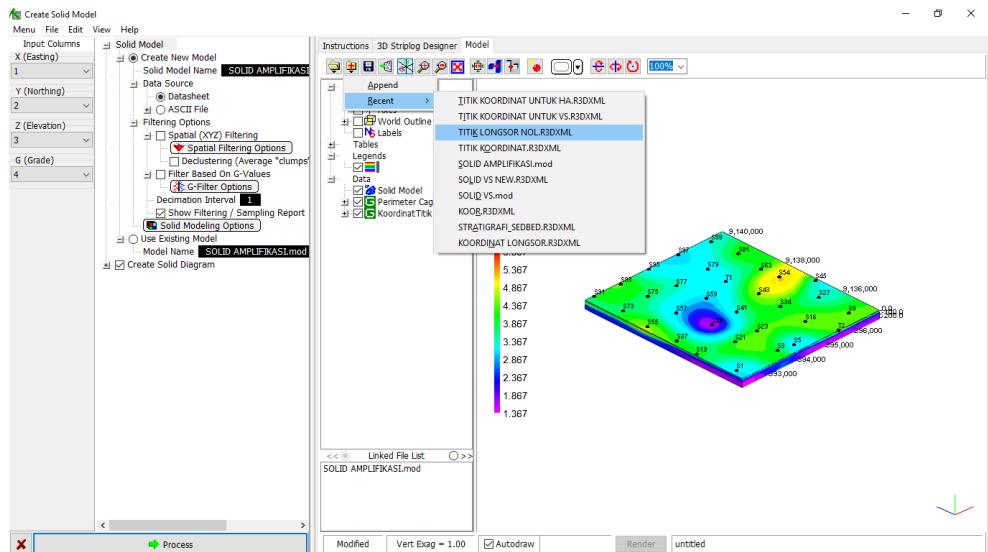
Gambar L42. Tampilan pengaturan *Solid Model*

8. Pilih *process* dan akan muncul tampilan model 3D seperti Gambar L43.



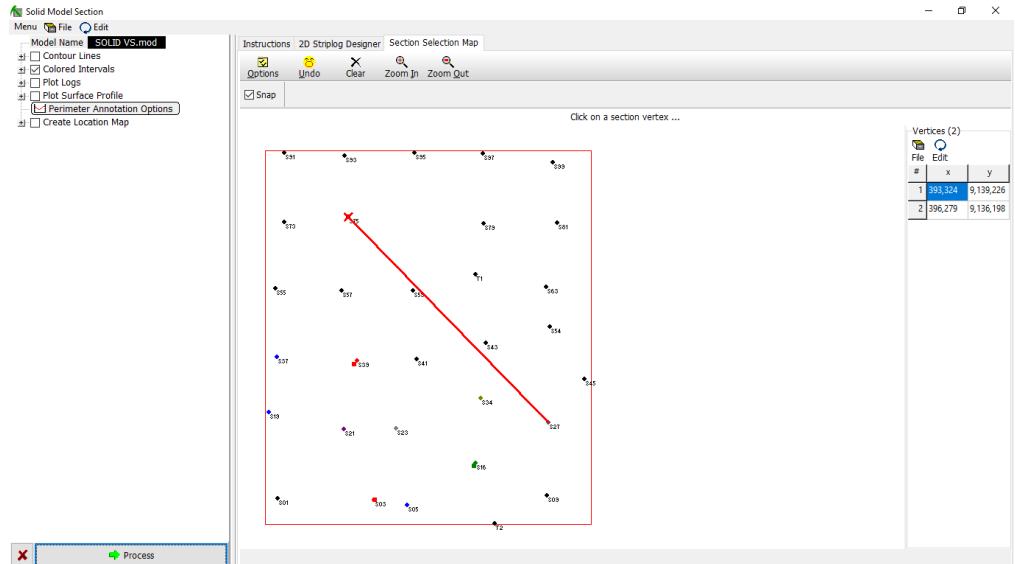
Gambar L43. Tampilan hasil proses *solid model*

9. Memasukkan titik koordinat penelitian dan koordinat longsor.



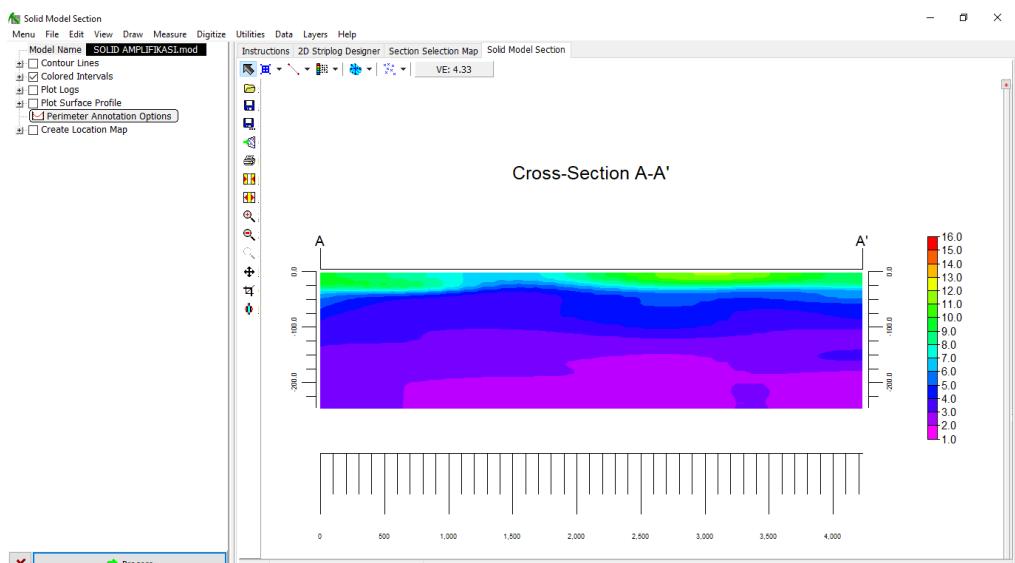
Gambar L44. Tampilan memasukkan titik koordinat di *solid model*

10. Melakukan sayatan hasil *solid model* dengan kembali ke halaman *utilities* dan memilih menu *Solid*, kemudian *Section*. Memilih garis sayatan dengan cara memasukkan titik awal dan titik akhir sayatan di tabel *Vertices*. Pemilihan sayatan disesuaikan dengan titik lokasi longsor yang ada di Kecamatan Bagelen.



Gambar L45. Tampilan *Solid Model Section*

11. Kemudian pilih *process* dan diperoleh hasil sayatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar L46.



Gambar 1.46. Tampilan hasil *Cross Section* dari *Solid Model*.

Lampiran 10

Proses Pemodelan 3D Litologi Bawah Permukaan

1. Membuat *datasheet* di Microsoft Excel terkait data yang akan dimasukkan di *Rockworks 15* seperti yang ditunjukkan pada Gambar L47.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	ID	Easting	Northing	Vs	H												
2	S1	392286	9135081	147.84	-3.502												
3		392286	9135081	369.51	-14.98												
4		392286	9135081	846.19	-75.01												
5		392286	9135081	1693.41	-100												
6	S3	393704	9135062	142.3	-2.98												
7		393704	9135062	1150.12	-47.98												
8		393704	9135062	2573.96	-100												
9	S5	394196	9134981	472.668	-11.11												
10		394196	9134981	1186.3	-68.65												
11		394196	9134981	2605.08	-100												
12	S9	396258	9135130	119.35	-2.61												
13		396258	9135130	441.96	-18.09												
14		396258	9135130	1454.62	-72.18												
15		396258	9135130	2744.06	-10												
16	S16	395205	9135598	219.36	-19.09												
17		395205	9135598	565.07	-13.56												
18		395205	9135598	1262.14	-77.38												
19		395205	9135598	2816.27	-100												
20	S19	392156.3	9136350	125.21	-2.78												
21		392156.3	9136350	366.56	-37.42												
22		392156.3	9136350	907.35	-100												
23	S21	393263.4	9136103	90.62	-1.06												
24		393263.4	9136103	400.41	-7.61												

Gambar L47. *Datasheet* pemodelan 3D litologi bawah permukaan

2. Membuka software *Rockworks 15* dan memilih menu *Utilities*.
3. Mengisi kolom *Utilities* dengan ketentuan kolom 1 adalah koordinat *easting*, kolom 2 adalah koordinat *northing*, kolom 3 adalah nilai kedalaman lapisan dan kolom 4 adalah nilai kecepatan gelombang geser (v_s).

RockWorks/15 Complete - Revision 2009.10.27 - (C) Copyright 1983-2009 by RockWare Incorporated.

Project Folder = C:\Users\G. Ayu\Documents\RockWorks15 Data\Samples

Utilities Manager

Project Manager
Borehole Database
Msc. Project Tables
ATM Models (1 File)
Solid Models (4 Files)
3-D Diagrams (10 Files)
2-D Diagrams (5 Files)
3-D Diagrams (21 Files)
LAS Files (2 Files)
RCL Files (8 Files)
Msc. Tables

Display Project Dimensions (Show Advanced Options)

	Minimum	Maximum	Spacing	Nodes	Range	Scan Datasheet
X (Easting):	392,100.0	396,900.0	100.0	49	4,800.0	<input type="button" value="Scan Datasheet"/>
Y (Northing):	9,134,700.0	9,140,200.0	100.0	56	5,500.0	<input type="button" value="Scan Datasheet"/>
Z (Elevation):	-245.0	0.0	5.0	50	245.0	<input type="button" value="Scan Datasheet"/>

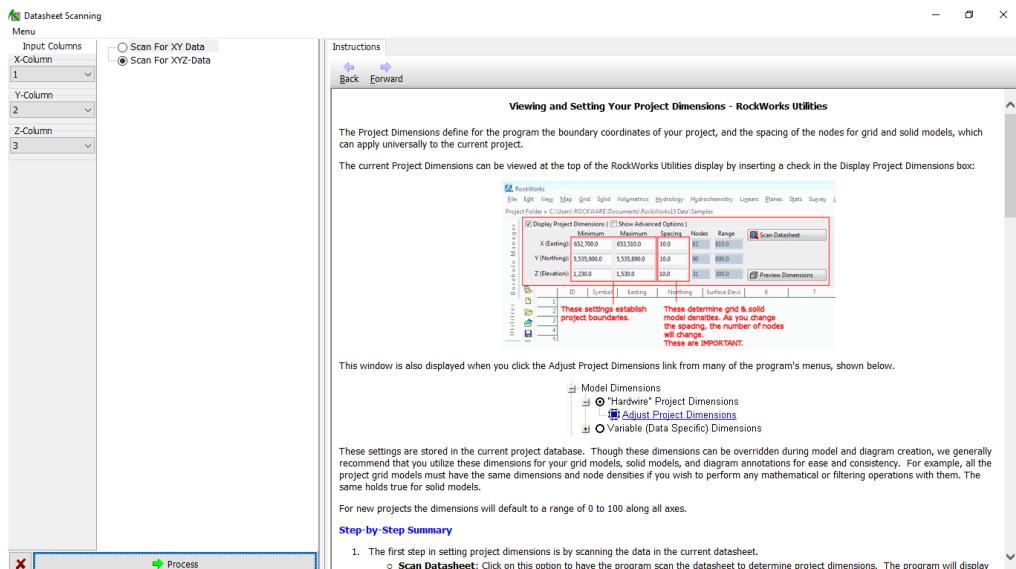
Preview Dimensions

Row#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	392286	9135081	-75.01	846.19													
2	392286	9135081	-100	1693.41													
3	393704	9135062	-2.98	142.3													
4	393704	9135062	-47.98	1150.12													
5	393704	9135062	-100	2573.96													
6	394196	9134981	-11.11	472.668													
7	394196	9134981	-68.65	1186.3													
8	394196	9134981	-100	2605.08													
9	396258	9135130	-2.61	119.35													
10	396258	9135130	-18.09	441.96													
11	396258	9135130	-72.18	1454.62													
12	396258	9135130	-10	2744.06													
13	395205	9135598	-19.09	219.36													
14	395205	9135598	-13.56	565.07													
15	395205	9135598	-77.38	1262.14													
16	395205	9135598	-100	2816.27													
17	392156.3	9136501	-2.78	125.21													
18	392156.3	9136501	-37.42	366.56													
19	392156.3	9136501	-100	807.55													
20	393263.4	9136103	-1.06	90.62													
21	393263.4	9136103	-7.61	400.41													
22	393263.4	9136103	-43.02	1437.25													
23	393263.4	9136103	-100	2996.32													
24	394028	9136108	-8.92	488.03													
25	394028	9136108	-55.7	1349.68													

Column: 5 Row: 1 Total Rows: 218 C:\Users\G. Ayu\Documents\RockWorks15 Data\Samples\SOLID VS.atd

Gambar L48. Tampilan menu *Utilities* pada *Rockworks 15*

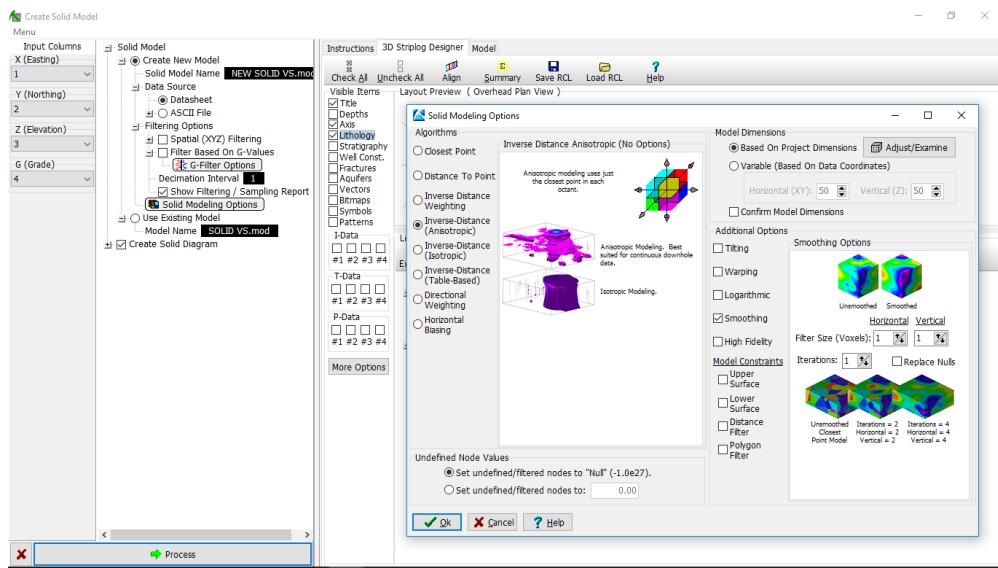
- Pilih *Scan Datasheet*, kemudian bagian *input column* dipilih sesuai dengan kolom yang dimasukkan, dan pilih *scanning* untuk kolom XYZ.



Gambar L49. Tampilan *Scan Datasheet*

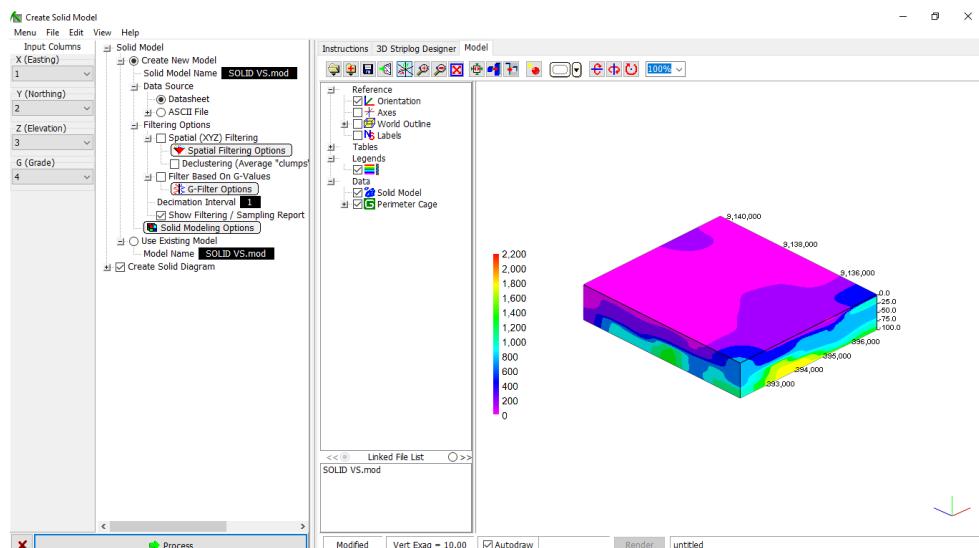
- Setelah itu, memilih menu *Solid*, kemudian pilih *Model*. Kemudian akan muncul pengaturan seperti yang ditunjukkan pada Gambar L39. Pada bagian *input column* disesuaikan pada kolom *utilities*. Pilih *create new model* dan beri

nama pemodelan dengan format *.mod*. Selain itu untuk pengaturan *filtering* ditunjukkan pada Gambar L50.



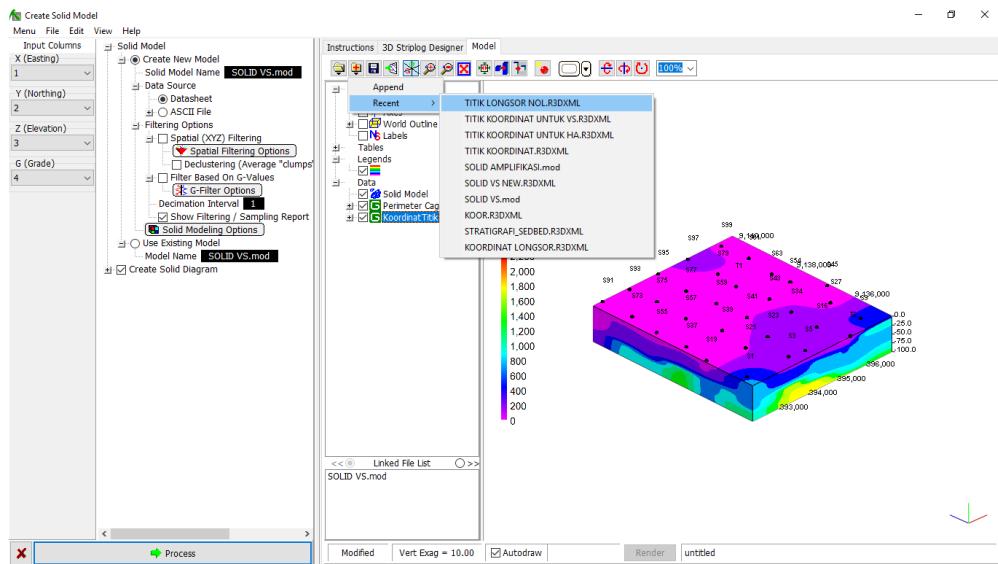
Gambar L50. Tampilan pengaturan *Solid Model*

6. Pilih *process* dan akan muncul tampilan model 3D seperti Gambar L51.



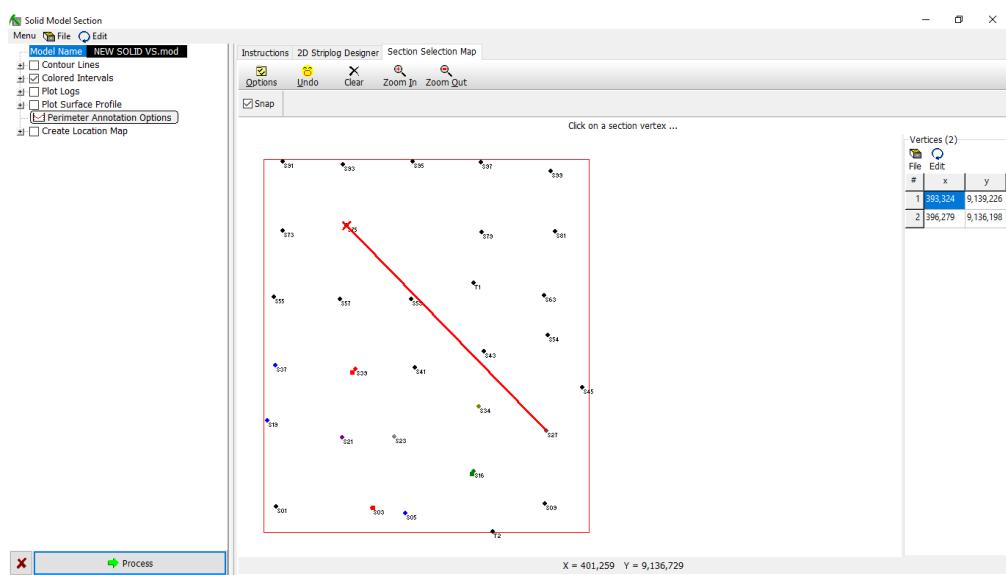
Gambar L51. Tampilan hasil proses *solid model*

7. Memasukkan titik koordinat penelitian dan koordinat longsor.



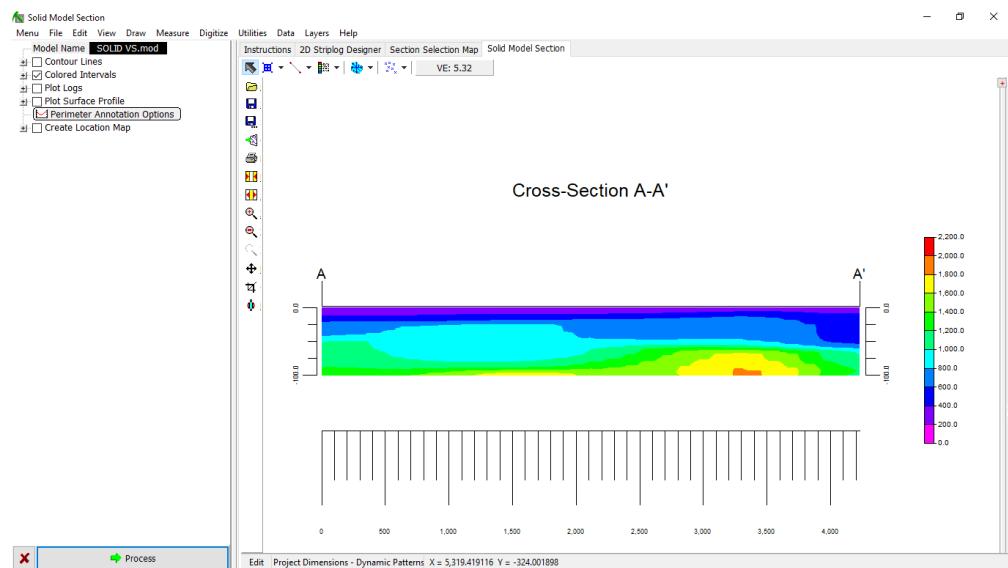
Gambar L52. Tampilan memasukkan titik koordinat di *solid model*

8. Melakukan sayatan hasil *solid model* dengan kembali ke halaman *utilities* dan memilih menu *Solid*, kemudian *Section*. Memilih garis sayatan dengan cara memasukkan titik awal dan titik akhir sayatan di tabel *Vertices*. Pemilihan sayatan disesuaikan dengan titik lokasi longsor yang ada di Kecamatan Bagelen.



Gambar L53. Tampilan *Solid Model Section*

9. Kemudian pilih *process*.



Gambar L54. Tampilan hasil *Cross Section* dari *Solid Model*.

Lampiran 11

Pembuatan Titik Koordinat di *Rockworks 15*

1. Membuka *software Rockworks 15* dan memilih halaman *Utilities*.
2. Mengisi kolom *Utilities* dengan ketentuan berikut: kolom 1 adalah koordinat *easting*, kolom 2 adalah koordinat *northing*, kolom 3 adalah posisi vertikal dimana titik koordinat akan muncul di permukaan (menyesuaikan posisi vertikal maksimum setiap model), dan kolom 4 adalah nama titik koordinat.

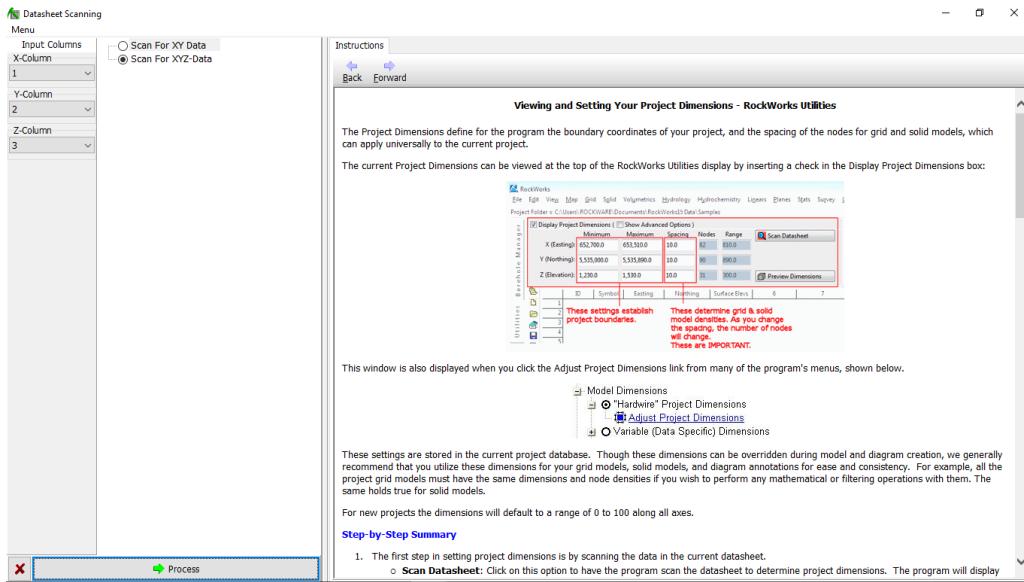
Pengisian kolom ditampilkan pada Gambar L55.

The screenshot shows the 'Utilities' tab selected in the 'Borehole Manager' window. The main area is a data grid with the following approximate data:

Row#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	392282	9135081	251														
2	393704	9135062	253														
3	394196	9134981	255														
4	396258	9135130	259														
5	395202	9135598	2516														
6	392156.4	9136350.1	2519														
7	393263.4	9136103.2	2521														
8	394026	9136108	2523														
9	396270	9136198	2527														
10	395281	9136553	2534														
11	392272.4	9137160.3	2537														
12	393454.8	9137106.2	2539														
13	394330.0	9137128	2541														
14	395352	9137372.8	2543														
15	396811	9136841	2545														
16	396298.5	9137602.7	2554														
17	392256.4	9138173	2555														
18	393233.1	9138141	2557														
19	394281.4	9138133.6	2559														
20	396244.8	9138188.9	2563														
21	392384.1	9139141.5	2573														
22	393324	9139225.7	2575														
23	394196	9139089.3	2577														
24	395323	9139119	2579														
25	396402	9139135	2581														

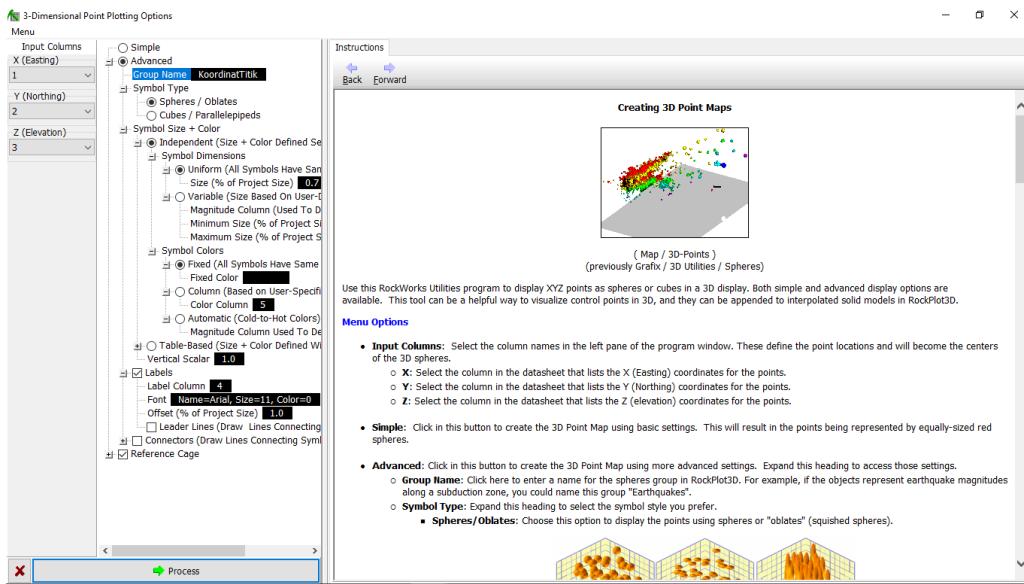
Gambar L55. Tampilan pengisian kolom *Utilities* untuk pembuatan koordinat di *Rockworks 15*

3. Kemudian pilih *Scan Datasheet*. Kemudian akan muncul pengaturan *Datasheet Scanning* seperti pada Gambar L56, *input column* diisi sesuai dengan pengisian di kolom utilities, dan dipilih *scan* untuk data XYZ.



Gambar L56. Tampilan pengaturan *Datasheet Scanning*

- Kemudian kembali ke halaman *Utilities*. Dipilih menu *Map - 3D points* untuk memulai proses pembuatan titik koordinat. Kemudian akan muncul pengaturan seperti pada Gambar L57.

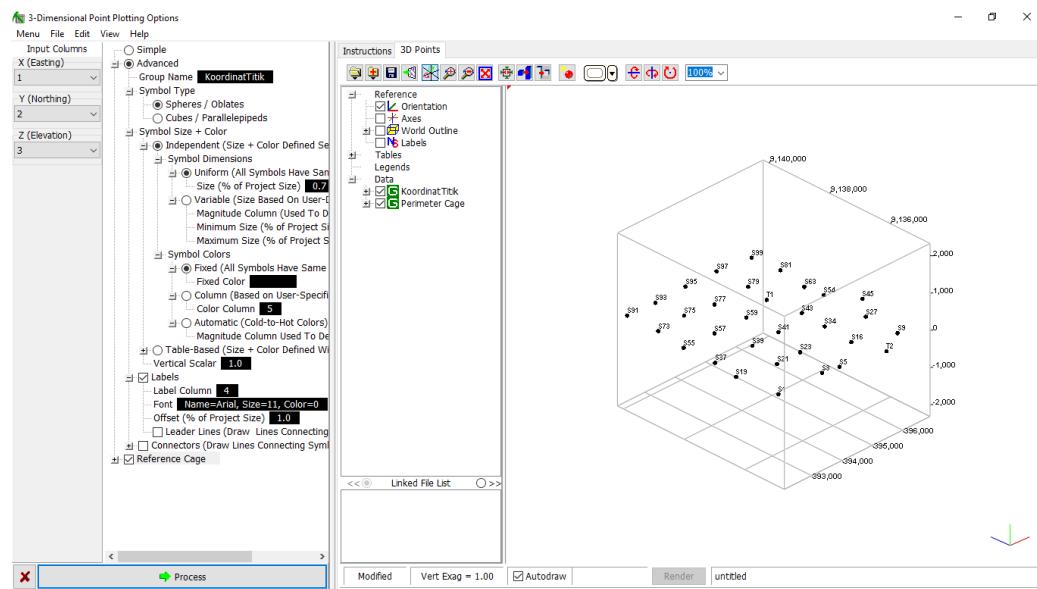


Gambar L57. Pengaturan pembuatan *3D point*

- Input column* disesuaikan dengan pengisian di kolom utilities. Dipilih proses pembuatan *Advanced* agar bisa diatur titik koordinat yang dihasilkan. Untuk

mengatur ukuran dan warna titik koordinat dipilih *Symbol size + colour – Independent*, dan untuk menampilkan nama titik koordinat dipilih *Labels*.

5. Pilih *process* dan hasilnya seperti yang ditampilkan pada Gambar L58. Koordinat disimpan dalam format *.R3DXML* agar bisa dimasukkan di pemodelan 3D.



Gambar L58. Tampilan titik koordinat 3D

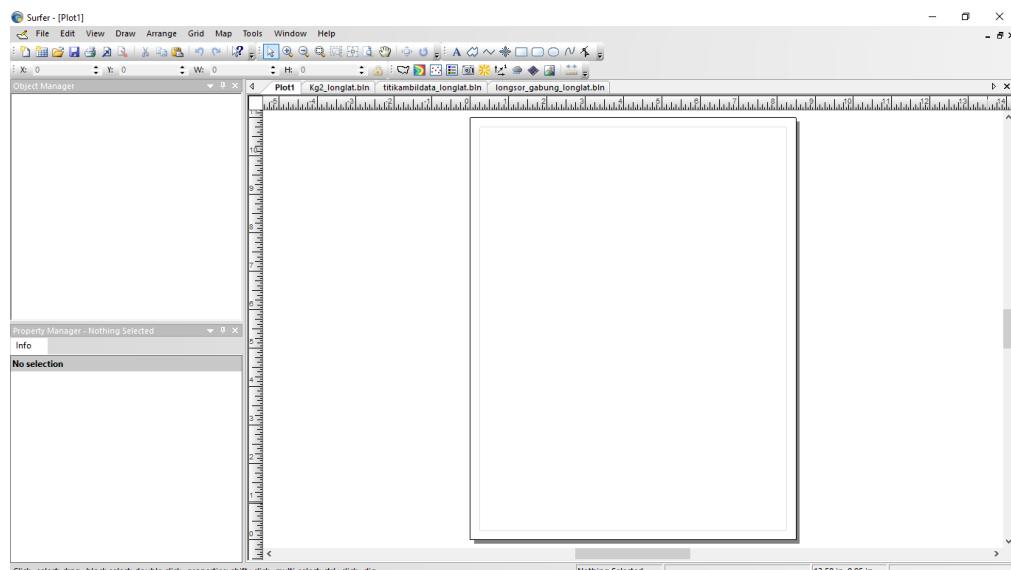
Lampiran 12

Proses Mikrozonasi dengan Surfer 10

1. Membuat *datasheet* mikrozonasi pada Microsoft Excel.

L59. Tampilan *Datasheet* Mikrozonasi

2. Membuka *software Surfer*, tampilannya ditunjukkan pada Gambar L60.



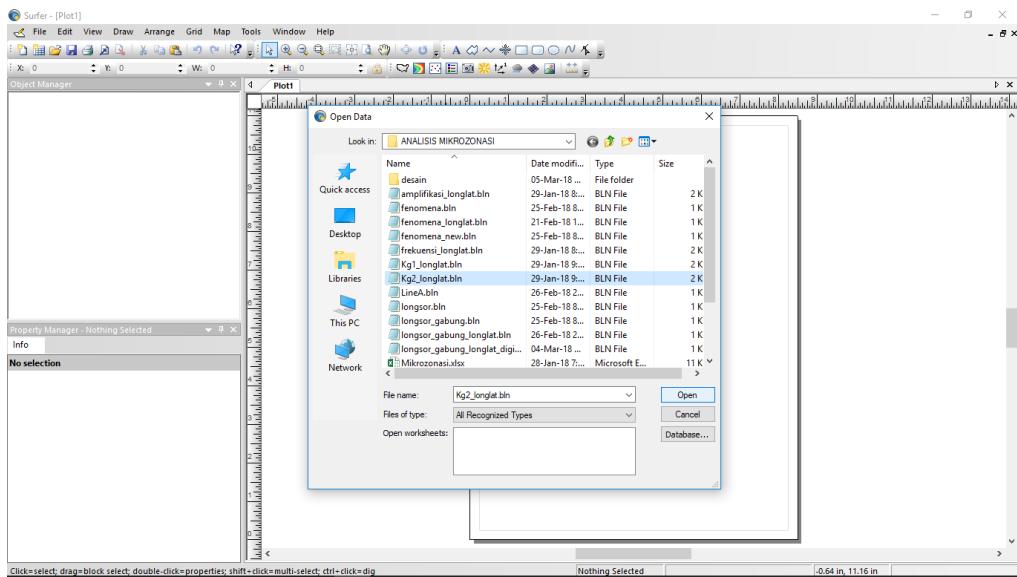
L60. Tampilan software Surfer 10

3. Memilih jendela *Worksheet* dengan mengklik ikon *New Worksheet*. Kemudian mengisi tabel dengan ketentuan: kolom A adalah koordinat *longitude*, kolom B adalah koordinat *latitude*, dan kolom C adalah nilai parameter yang akan dimikrozonasi.

	A	B	C
	x	y	z
1	110.02301	-7.8235760	0.0004707
2	110.03587	-7.8237774	0.0008719
3	110.04033	-7.8245201	0.0001738
4	110.05940	-7.8232146	0.0004951
5	110.04950	-7.8189605	0.0005684
6	110.02186	-7.8120951	0.0005263
7	110.03190	-7.8143513	0.0015738
8	110.03883	-7.8143237	0.0002014
9	110.05925	-7.8135556	0.0007204
10	110.05021	-7.8103246	0.0003638
11	110.02293	-7.8047698	0.0009762
12	110.03366	-7.8052838	0.0005828
13	110.04160	-7.8051047	0.0000868
14	110.05087	-7.8029115	0.0008341
15	110.06409	-7.8077508	0.0001193
16	110.05945	-7.8008513	0.0007674
17	110.02281	-7.7956103	0.0010251
18	110.03167	-7.7959201	0.0001839
19	110.04117	-7.7960086	0.0000627
20	110.05898	-7.7955484	0.0012547
21	110.02399	-7.7868536	0.0006823
22	110.03251	-7.7861116	0.0007745
23	110.04036	-7.7873631	0.0015911
24	110.05064	-7.7871176	0.0000848
25	110.06042	-7.7869947	0.0002843
26	110.02400	-7.7776102	0.0000163
27	110.03204	-7.7780465	0.0010005
28	110.04139	-7.7776725	0.0003920
29	110.05068	-7.7780017	0.0001313
30	110.05990	-7.7789548	0.0004864

L61. Tampilan pengisian *Worksheet*

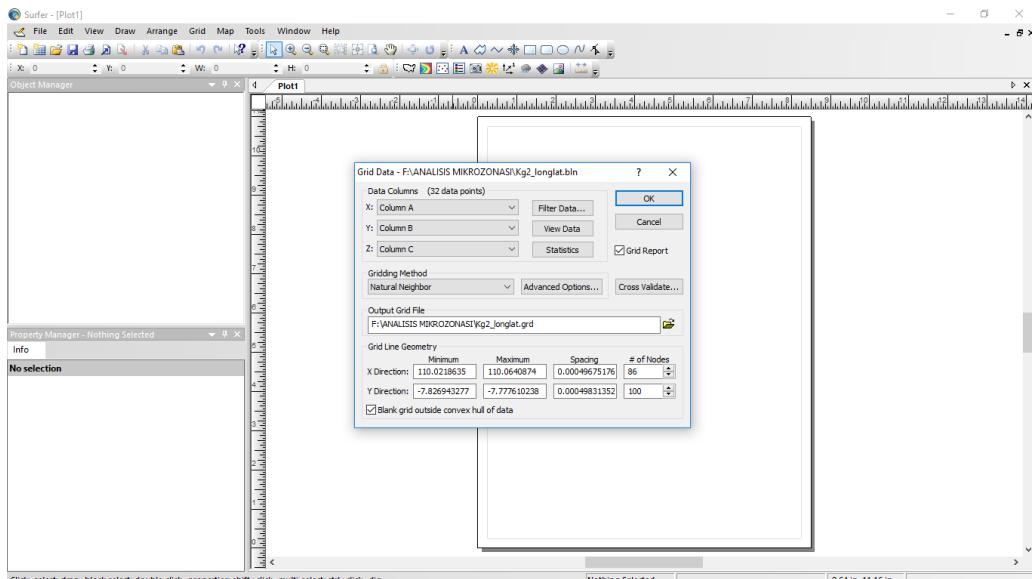
4. *Worksheet* kemudian disimpan dalam format *.bln*.
5. Untuk memulai proses mikrozonasi, kembali ke jendela *Plot*. Kemudian pilih *Grid – Data* dan pilih file dalam format *.bln* yang akan dimikrozonasi. Tampilannya ditunjukkan pada Gambar L62. Kemudian pilih *Open*.



Gambar L62. Tampilan memulai proses mikrozonasi dengan *gridding*

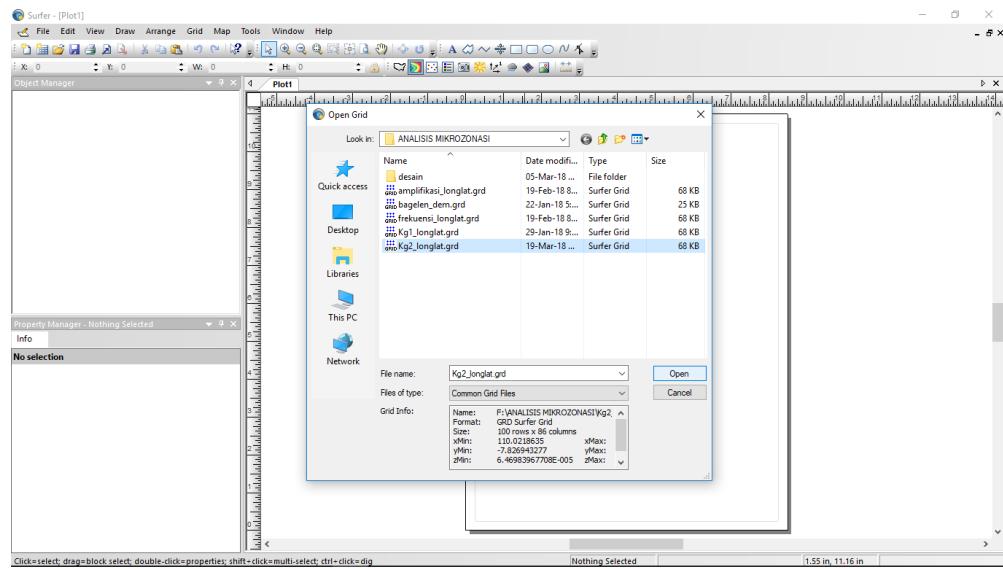
6. Muncul tampilan pengaturan *gridding* seperti yang ditunjukkan pada Gambar

L63. Dipilih metode *natural neighbor*.



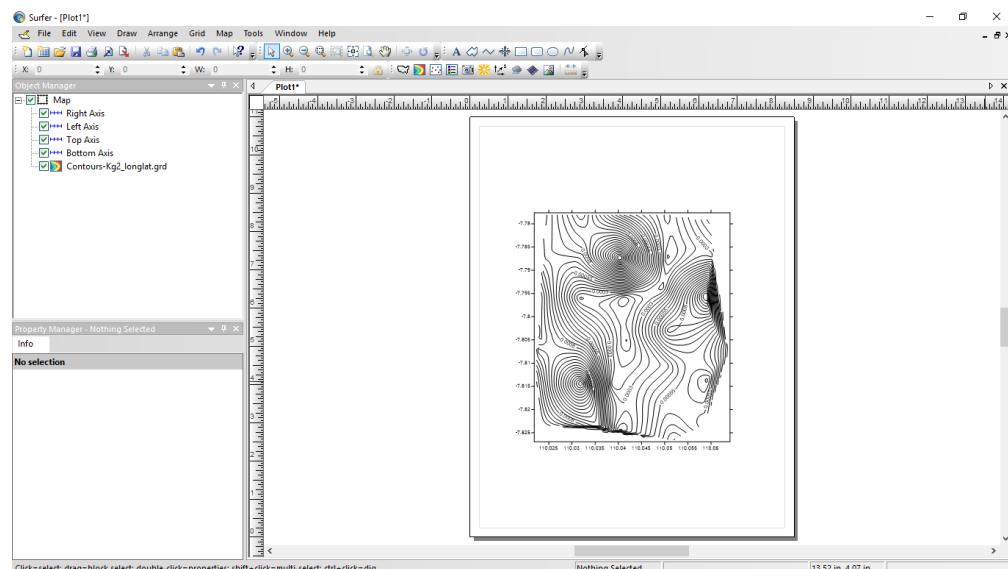
Gambar L63. Tampilan pengaturan *gridding*

7. Setelah proses *gridding* selesai, hasil *gridding* akan tersimpan dalam format *.grd*. Untuk menampilkan hasil *gridding* dipilih ikon *New Contour Map*.



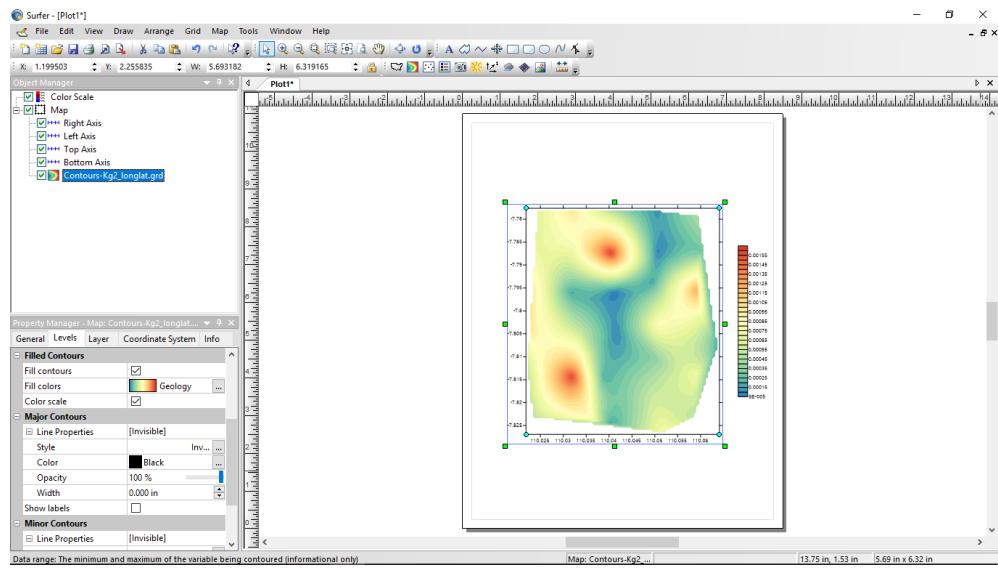
Gambar L64. Tampilan membuka hasil *gridding*

8. Hasil *gridding* akan muncul dalam bentuk kontur, seperti yang ditunjukkan pada Gambar L65.



Gambar L65. Tampilan hasil *gridding* dalam bentuk kontur

9. Pengaturan warna dan tampilan kontur dilakukan di pilihan *Level* pada *Property Manager*.



Gambar L66. Tampilan pengaturan kontur

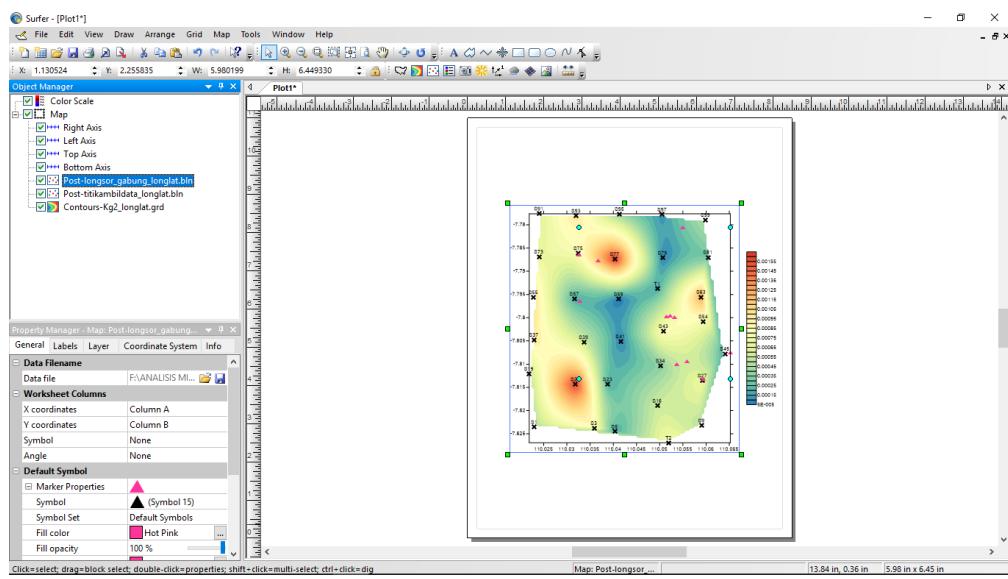
10. Untuk memunculkan titik pengukuran dan titik longsor pada kontur, dipilih ikon *New Post Map*, dan membuka *Worksheet* yang sudah disimpan dalam bentuk *.bln* dengan ketentuan: kolom A adalah koordinat *longitude*, kolom B adalah koordinat *latitude*, dan kolom C adalah nama titik pengukuran.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	110.0358	-7.7934													
2	110.0358	-7.7934													
3	110.0358	-7.7934													
4	110.0358	-7.7934													
5	110.0358	-7.7934													
6	110.0358	-7.7934													
7	110.0358	-7.7934													
8	110.0358	-7.7934													
9	110.0358	-7.7934													
10	110.0358	-7.7934													
11	110.0358	-7.7934													
12	110.0358	-7.7934													
13	110.0358	-7.7934													
14	110.0358	-7.7934													
15	110.0358	-7.7934													
16	110.0358	-7.7934													
17	110.0358	-7.7934													
18	110.0358	-7.7934													
19	110.0358	-7.7934													
20	110.0358	-7.7934													
21	110.0358	-7.7934													
22	110.0358	-7.7934													
23	110.0358	-7.7934													
24	110.0358	-7.7934													
25	110.0358	-7.7934													
26	110.0358	-7.7934													
27	110.0358	-7.7934													
28	110.0358	-7.7934													
29	110.0358	-7.7934													
30	110.0358	-7.7934													

Gambar L67. Tampilan pengisian *worksheet* koordinat

11. Setelah itu, peta titik koordinat yang muncul dan peta koordinat kontur disatukan dengan cara pilih *Map*, kemudian *Overlay*. Pengaturan simbol dan

pemunculan nama titik koordinat dilakukan di menu *General* dan *Label* pada *Property Manager*.



L68. Tampilan hasil mikrozonasi

Lampiran 13 Dokumentasi Penelitian

